

ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА

4(24)
2019

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

DOI: <https://doi.org/1034169/2414-0651>

ЩОКВАРТАЛЬНИК

ВИДАЄТЬСЯ 3 СІЧНЯ 2014 РОКУ

Керівник проекту, голова редакційної ради
І.Б. Чепков, д-р техн. наук

Голова редакційної колегії
Дерепа А.В., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Заступник голови редакційної колегії
Васьківський М.І., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Відповідальний секретар редакційної колегії
Глазкова С.В., к.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)

Редакційна колегія:
Бісик С.Л., к.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Бліцков В.С., д.т.н. (НУК)
Борковски Яцек, д.т.н. (ВІТО)
Грінченко В.Т., акад., д.ф.-м.н. (ІГ НАНУ)
Гурнович А.В., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Дідковський В.С., д.т.н. (НТУУ КПІ)
Довгополій А.С., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Животовський Р.М., к.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Зубарева В.В., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Коростельов О.П., д.т.н. (ДержККБ «Луч») (ДержККБ «Луч»)
Купріненко О.М., д.т.н. (НАСВ)
Кучер Д.Б., д.т.н. (ІВМС НУОМА)
Кучеров Д.П., д.т.н. (НАУ)
Кучинський А.В., к.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Ланецький Б.М., д.т.н. (ХНУПС)
Ланицький С.В., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Лейко О.Г., д.т.н. (НТУУ КПІ)
Луханін М.І., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Мітрахович М.М., д.т.н. (ДП «Вісненько-Прогрес»)
Олійник Б.О., д.т.н. (ДП «ЛОРТА»)
Расстригін О.О., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Сидоренко Ю.М., д.т.н. (НТУУ КПІ)
Слюсар В.І., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Чабаненко П.П., д.в.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Чепков І.Б., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)

Редакційна рада:
Певцов Г.В., д.т.н. (ХНУПС)
Ткачук П.П., д.іст.н. (НАСВ)
Толубко В.Б., д.т.н. (ДУТ)
Харченко О.В., д.т.н. (ДНДЦА)
Шевцов М.М., к.т.н. (ОЗСУ)

Розглянуто та схвалено до друку
науково-технічною радою
ЦНДІ ОВТ ЗС України
(протокол №15 від 21.11.2019)

Оригінальний макет виготовлено
Видавничим домом Дмитра Бургаго

Адреса редакції:

Україна, 03049, м. Київ,
пр-т Повітрофлотський, 28
Тел.: (044) 271-0966
Факс: (044) 520-12-84
E-mail: cnidi_ovt@mil.gov.ua
Сайт: <https://journal.cnidiov.com.ua>

Свідчить про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації
серія КВ №20209-10009Р від 20.08.2013

Журнал входить до переліку наукових видань
Міністерства освіти і науки України
(наказ №7-дек від 30.09.2014)



© ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2019

У НОМЕРІ

ВОЄННО-ТЕХНІЧНА ПОЛІТИКА	
<i>Коробченко С. О.</i> Процес оцінки витрат за проектами в NASA.	3
СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ	
<i>Головін О. О.</i> Таксономічне відображення інформаційних ресурсів дослідно-конструкторських робіт	12
АВТОМОБІЛЬНА ТЕХНІКА	
<i>Грубель М. Г., Крайник Л. В., Купріненко О. М.</i> Методологія оцінки опорної прохідності колісної військової автомобільної техніки	22
РАДІОТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ	
<i>Рябуха В. П., Семеняка А. В., Катюшин Є. А., Зарицький В. І., Головін О. О.</i> Дослідний зразок цифрової адаптивної системи захисту радіолокаторів від маскувальних пасивних завад на основі адаптивного решітчастого фільтра	32
ТЕХНІКА ТА ОЗБРОЄННЯ ВІЙСЬКОВО-МОРСЬКИХ СИЛ	
<i>Derepa A. V., Leiko O. H., Drozdenko O. I., Svyatnenko A. O.</i> Properties of electric fields of hydroacoustic radiators with internal screens (<i>Дерепа А. В., Лейко О. Г., Дрозденко О. І., Святненко А. О.</i> Властивості електричних полів гідроакустичних випромінювачів з внутрішніми екранами)	41
<i>Расстригін О. О., Зірка А. Л., Беляев Д. М.</i> Методика розрахункової оцінки гідродинамічної повздовжньої сили на корпусах перспективних швидкісних засобів при русі по водній поверхні різного стану	49
<i>Didkovskii V. S., Korzhuk O. V., Naida S. A.</i> Operational energy range calculation of the "carrier-underwater vehicle" system on use of hydroacoustic communication channel in the shallow sea (<i>Дідковський В. С., Коржук А. В., Найда С. А.</i> Розрахунок енергетичної дальності дії системи "носії – підводний апарат" по гідроакустичному каналу зв'язку в мілкому морі)	56
АРТИЛЕРІЙСЬКЕ ТА СТРЕЛЬЦЬКЕ ОЗБРОЄННЯ	
<i>Гурнович А. В., Кучинський А. В., Кучинська О. Б., Ланицький С. В., Майстренко О. А., Трофименко В. Г.</i> Методичний підхід до визначення балістичного коефіцієнта куль в полігонних умовах.	65
СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПРИЦІЛЮВАННЯ	
<i>Сенаторов В. М., Сенаторов М. В.</i> Застосування нашоломної системи індикації у Сухопутних військах	71
РАДІОЕЛЕКТРОННА БОРОТЬБА	
<i>Гроздов А. А., Зібін С. Д., Попов А. О., Твердохлібов В. В.</i> Методика формування групової оцінки електромагнітної сумісності наземних радіоелектронних засобів передачі інформації.	78
ВИРОБНИЦТВО, МОДЕРНІЗАЦІЯ, РЕМОНТ	
<i>Білокур М. О.</i> Отримання вихідних даних для вимірювання вартості етапу життєвого циклу «експлуатація»	87
ЗБРОЯ НА НЕТРАДИЦІЙНИХ ПРИНЦИПАХ	
<i>Білобородов О. О., Довгополій А. С.</i> Технології інформаційно-психологічних війн та інформаційно-психологічна зброя	93
ІНФОРМАЦІЯ	
<i>Борохвостов В. К.</i> VII міжнародна науково-практична конференція "Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки": основні підсумки	100
Резюме	115

WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

4(24)
2019

SCIENTIFIC JOURNAL

DOI: <https://doi.org/1034169/2414-0651>

QUARTERL

PUBLISHED SINCE JANUARY 2014

TABLE OF CONTENTS

MILITARY TECHNICAL POLICY

Korobchenko S. O. NASA projects cost estimating process. 3

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

Holovin O. O. Taxonomic display of information resources (documents) developed during the execution of development work 12

TACTICAL WHEELED VEHICLES

Hrubel M. P., Krajnyk L. V., Kuprinenko O. M. Methodology of military vehicles wheel performance assessment. 22

RADIO-TECHNICAL FACILITIES

Riabukha V. P., Semeniaka A. V., Katiushyn Ye. A., Zarytskyi V. I., Holovin O. O. Digital adaptive system of radar protection against masking clutter on the basis of adaptive lattice filter 32

NAVY ARMAMENT & EQUIPMENT

Derepa A. V., Leiko O. H., Drozdenko O. I., Svyatnenko A. O. Properties of electric fields of hydroacoustic radiators with internal screens. 41

Rasstrygin O. O., Zirka A. M., Belyaev D. M. Methodology of calculation of hydrodynamic longitudinal force estimation on the bodies of perspective velocity vehicles when moving on a water surface of different state. 49

Didkovskii V. S., Korzhyk O. V., Naida S. A. Operational energy range calculation of the "carrier-underwater vehicle" system on use of hydroacoustic communication channel in the shallow sea. 56

ARTILLERY WEAPONS & SMALL ARMS

Hurnovych A. V., Kuchynsky A. V., Kuchynska O. B., Lapitsky S. V., Maistrenko O. A., Trofymenko V. H. Methodical approach to determination of ballistic coefficient of balls in polygon conditions 65

TARGET ACQUISITION & SIGHTING SYSTEMS

Senatorov V. M., Senatorov M. V. Using of helmet mounted display system in army 71

JAMMING WARFARE

Groz dov A. A., Zibin S. D., Popov A. O., Tverdochlibov V. V. Method of forming electromagnetic compatibility group evaluation with respect to ground communication systems 78

PRODUCTION, MODERNIZATION, MAINTENANCE

Bilokur M. O. Getting output data for measurement of cost stage of the life cycle "operation" stage 87

UNCONVENTIONAL WEAPONS

Biloborodov O. O., Dovhopolyi A. S. Technologies of information-psychological wars and information-psychological weapons 93

INPUTS

Borokhvostov V. K. VII International scientific-practical conference "Problems of coordination of military-technical and defense-policy in Ukraine. Prospects of development of arms and military equipment": main summary 100

Resume 115

Project Manager, Editorial Director
Chepkov I.B., DEng

Editorial Director
Derepa A.V., DEng (CRI WME AFU)
Deputy of Editorial Director
Vaskivskyy M.I., DEng (CRI WME AFU)
Executive Secretary of Editorial Board
Hlazzkova S.V., PhD (CRI WME AFU)

Editorial Board:
Bisyk S.P., PhD (CRI WME AFU)
Blintsov V.S., DEng (NUS)
Borkovskyy Yatssek, DEng (WITA)
Hrinchenko V.T., acad., DEng (IG NASU)
Hurnovych A.V., DEng (CRI WME AFU)
Didkovskyy V.S., DEng (NTUU KPI)
Dovhopolyi A.S., DEng (CRI WME AFU)
Zhyvotovskyy R.M., PhD (CRI WME AFU)
Zubariiev V.V., DEng (CRI WME AFU)
Korostelyov O.P., DEng ("SKDB" Luch")
Kuprinenko O.M., DEng (Hetman Petro Sahaidachnyi NAA)

Kucher D.B., DEng (NI NU "OMA")
Kuchero D.P., DEng (NAU)
Kuchynskyy A.V., PhD (CRI WME AFU)
Lanetskyi B.M., DEng (KNUAF)
Lapytsky S.V., DEng (CRI WME AFU)
Leyko O.H., DEng (NTUU KPI)
Lukhanin M.I., DEng (CRI WME AFU)
Mitrakhovych M.M., DEng (SE Ivchenko-Progress)
Oliarynyk B.O., DEng (SE "LSP" LORTA")
Rasstryhin O.O., DEng (CRI WME AFU)
Sydorenko Yu.M., DEng (NTUU KPI)
Slyusar V.I., DEng (CRI WME AFU)
Chabanenko P.P., DScMil, (CRI WME AFU)
Chepkov I.B., DEng (CRI WME AFU)

Editors:
Pyevtsov H.V., DEng (KNUAF)
Tkachuk P.P., DSc (Hetman Petro Sahaidachnyi NAA)
Tolubko V.B., DEng (SUT)
Kharchenko O.V., DEng (SRIA)
Shevtsov M.M. (AAFU)

Reviewed and approved for publication by Science and Engineering Board (record No.15 of 21.11.2019)

Original dummy copy was made by Dmitry Burago Publishing House

Editorial address:

Ukraine, 03049, Kyiv
28, Povitroflotsky Ave
tel.: (044) 271-0966
fax: (044) 520-12-84
E-mail: cndi_ovt@mil.gov.ua
Site: <https://journal.cnditovt.com.ua>

Medium State Registration Certificate serial No. KB 20209-10009R of 20.08.2013

Journal is in the list of scientific professional publications of the Ministry of Education and Science of Ukraine (order No.7-FOUO of 30.09.2014)



УДК 330.13:623

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4\(24\).3-11](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4(24).3-11)**С. О. КОРОБЧЕНКО,**

начальник науково-дослідного відділу

<https://orcid.org/0000-0001-7650-5935>

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних сил України, м. Київ)

Процес оцінки витрат за проектами в NASA

У статті наведено законодавчу та правову основу процесу оцінки витрат на життєвий цикл проектів Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору Сполучених Штатів Америки, включаючи повні витрати на систему впродовж всього періоду її існування, починаючи зі стадій формулювання концепції, розробки та виробництва та закінчуючи стадіями експлуатації, підтримки та утилізації.

Розглянуто процес інтеграції даних щодо витрат в Національному управлінні з аеронавтики і дослідження космічного простору Сполучених Штатів Америки до звітів про бюджетну та зовнішню діяльність та процедуру їх подання до державних органів.

Визначено особливості застосування параметричної методології, інженерного методу та методу аналогії, що використовуються для оцінювання витрат на життєвий цикл технічних систем, їх переваги та недоліки.

Проаналізовано основні стадії 12-ти ступеневого процесу оцінювання витрат в Національному управлінні з аеронавтики і дослідження космічного простору Сполучених Штатів Америки, наведено детальний опис кожної фази, із зазначенням змісту та мети завдань, що входять до неї.

Наведено сутність та зміст процесу планування, проектування, складання бюджету та його виконання, що прийнятий в Сполучених Штатах Америки та адаптований для потреб Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору Сполучених Штатів Америки.

Метою даної статті є висвітлення підходів Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору Сполучених Штатів Америки щодо оцінки витрат за проектами, оцінка переваг та недоліків різних методологій щодо оцінки вартості життєвого циклу систем, розгляд регуляторних особливостей законодавства Сполучених Штатів Америки з цього питання.

Ключові слова: вартість життєвого циклу, метод аналогії, параметрична оцінка, інженерний метод, управління проектами, структура декомпозиції робіт, модель витрат, оцінка ризиків, процес планування, проектування, бюджетування та виконання, публікація НАТО, озброєння та військова техніка.

В статті приведена законодательная и правовая основа процесса оценки расходов на жизненный цикл проектов Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства Соединенных Штатов Америки, включая полные затраты на систему в течение всего периода ее существования, начиная со стадий формулировки концепции, разработки и производства и заканчивая стадиями эксплуатации, поддержки и утилизации.

Рассмотрены процесс интеграции данных о расходах в Национальном управлении по аэронавтике и исследованию космического пространства США в отчеты о бюджетной и

внешней деятельности и процедура их представления в государственные органы.

Определены особенности применения параметрической методологии, инженерного метода и метода аналогии, используемых для оценки затрат на жизненный цикл технических систем, их преимущества и недостатки.

Проанализированы основные стадии 12-ти ступенчатого процесса оценки затрат в Национальном управлении по аэронавтике и исследованию космического пространства Соединенных Штатов Америки, приведено подробное описание каждой фазы, с указанием содержания и целей задач, входящих в нее.

Приведены сущность и содержание процесса планирования, проектирования, составления бюджета и его выполнения, принятого в США и адаптированного для нужд Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства Соединенных Штатов Америки.

Целью данной статьи является освещение подходов Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства Соединенных Штатов Америки относительно оценки затрат по проектам, оценка преимуществ и недостатков различных методологий по оценке стоимости жизненного цикла систем, рассмотрение регуляторных особенностей законодательства Соединенных Штатов Америки по этому вопросу.

Ключевые слова: стоимость жизненного цикла, метод аналогии, параметрическая оценка, инженерный метод, управление проектами, структура декомпозиции работ, модель затрат, оценка рисков, процесс планирования, проектирования, бюджетирования и выполнения, публикация НАТО, вооружение и военная техника

ВСТУП

В умовах ведення гібридної війни на сході України одним із важливих завдань для держави як в мирний час, так і в особливий період, є повне, якісне та ритмічне оснащення Збройних Сил України новітнім озброєнням та військовою технікою (ОВТ). Ефективність виконання цього завдання безпосередньо впливає на ключові елементи воєнної безпеки держави, такі як: рівень бойової могутності (спроможності) сектору безпеки і оборони держави для стримування та відсічі агресії та рівень ресурсного забезпечення.

В зв'язку з обмеженими наявними державними ресурсами дуже актуальним питанням є ефективне їх використання в умовах недостатності інформації, у тому числі, що стосується оцінки прогнозованої вартості життєвого циклу ОВТ.

Країни-члени НАТО, насамперед США, мають величезний досвід оцінки вартості життєвого циклу різних високотехнологічних систем, у тому числі оборонного призначення.

Однією з організацій, що опікується цим питанням, є агенція уряду США — Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору (National Aeronautics and Space Administration (NASA)), яке проводить дослідження у галузі аеронавтики та є безпосереднім організатором та виконавцем космічних польотів в рамках відповідних державних програм.

Крім того, в рамках діяльності Агенції реалізується величезна кількість оборонних проектів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В зарубіжній та українській науковій літературі дуже велика увага приділена проблемам та підходам щодо оцінки вартості життєвого циклу високотехнологічних систем. Так, питання існуючого інструментарію у галузі оцінювання витрат, що реалізований на основі відповідного науково-методичного апарату, розглянуті М. Хайхарстом та Б. Вудом [1], П. Фрізом, Д. Кловстадом та ін. [2], М. Іванко, М. Домаком та ін. [3], процеси та алгоритми оцінки досліджені в роботах Р. Келога, Р. Бітена, Е. Махра[4], Л. Янга, Т. Джосеранда [5], Д. Хаіакера [6], Е. Запати [7], Х. Джонса [8]. Крім того, питання оцінки ризиків, вірогіднісних характеристик вартості життєвого циклу проаналізовано в статтях М. Алена, С. Карпентера та ін. [9], Р. Труделе, Е.Вайта та ін. [10], методи та моделі оцінювання витрат досліджені в роботах К. Губера, К. Хореджсі, Р. Джежлевського [11], С. Ханта, М. Ванпелта [12], А. Шао, Д. Вердса, Е. Кольтца [13], А. Овенса, О. Де Века [14] та І. Чепкова, В. Зубарева, В. Борохвостова, О. Рябця та ін. [15].

Мета роботи – висвітлення підходів NASA щодо оцінки витрат за проектами, оцінка переваг та недоліків різних методологій щодо оцінки вартості життєвого циклу систем, розгляд регуляторних особливостей законодавства США з цього питання.

Результати досліджень

Сьогодні NASA володіє сучасним методичним інструментарієм, що дозволяє проводити оцінку витрат за інжиніринговими проектами, як для потреб Агенції, так і в інтересах урядових структур США.

Основним джерелом знань щодо методів управління та оцінювання витрат в NASA є Керівництво по оцінюванню витрат NASA [16]. Суворе слідування методам та підходам, що визначені в цьому довіднику, дозволяє NASA досягати кращих результатів як в області оцінювання витрат, так і в області прогнозування ризиків. У лютому 2015 р. агенція випустила оновлену версію Керівництва, яке в цілому зберігає основні принципи і підходи, сформовані раніше, та відповідає ідеології управління вартістю в проектах, яка наведена в Довіднику з управління проектами (PMBOK® Guide) [17].

Оцінка витрат служить раціональною основою для планування бюджету, який, в свою чергу, проходить складну процедуру затвердження в Конгресі та президентських структурах. Вона використовується також для внутрішніх потреб – проведення експертиз програм і прийняття управлінських рішень з питань інвестицій.

У Керівництві порушується широкий спектр тем, що стосуються загальних концепцій, характерних процесів, способів і методів оцінювання витрат. Воно визначає способи оцінювання з точки зору NASA і містить практичну інформацію, що стосується відповідних методів. Керівництво не є вичерпним методичним посібником і не містить жорстких вимог, яким повинен задовольняти проект, але воно дійсно надає деталі стосовно того, що необхідно знати, щоб врахувати всі особливості з оцінювання витрат, які наведені в нормативному документі

Агенції NPR 7120.5D NASA Space Flight Program and Project Management Requirements [18].

Вимоги до оцінки витрат і методи оцінювання варіюються у визначених межах відповідно до цілей структур (центрів), що входять до складу NASA. Однак всередині Агенції основні вимоги та методи щодо оцінювання витрат залишаються незмінними. Кожен підрозділ NASA, що займається оцінкою витрат, може доповнити, при необхідності, загальні положення, розробивши спеціальні інструкції і процедури, які застосовуються за специфічними ситуаціями та вимогами даного центру. Більш того, кожен фахівець з оцінювання готує пропозиції щодо доопрацювання існуючої методичної бази, коли вони опинилися неадекватними або коли того вимагають обставини.

Інтегрований, централізований і дисциплінований підходи до управління проектом протягом його життєвого циклу призводять до реальних і відчутних позитивних результатів для всіх зацікавлених сторін. Організації, такі як NASA, які вимагають великих дивідендів від своєї діяльності, повинні надавати виконавцям проекту всі ресурси, необхідні їм для досягнення значних успіхів. Це передбачає реалістичні оцінки вартості реалізуємих проектів (програм). Саме тому оцінювання витрат так важливо для NASA. За допомогою дослідження ринку і аналізу ризиків витрат, разом з використанням надійного програмного забезпечення, якісного устаткування, застосування принципів системного проектування та великого практичного досвіду збільшується вірогідність успішної реалізації проекту в намічені терміни, в рамках встановленого бюджету.

Оцінка витрат на життєвий цикл проекту (LCC) включає повні витрати на систему впродовж всього періоду її існування, починаючи з початкових стадій (формулювання концепції, розробки та виробництво) та закінчуючи експлуатацією, підтримкою та утилізацією. Вона дає вичерпні і структуровані розрахунки всіх видів ресурсів, необхідних для визначення та забезпечення повного переліку елементів витрат, включаючи витрати на розробку, впровадження, експлуатацію, підтримку та утилізацію. LCC використовується для прийняття рішень щодо програмування, бюджетування, вибору типу системи, визначення доцільності, обсягів і розмірів проекту.

Використання даних по витратах на проект для прийняття рішення є дуже важливим при обмежених ресурсах. Законодавча та правова основа, яка потребує обліку витрат, включає:

- Chief Financial Officers Act of 1990;
- Government Performance & Results Act (GPRA) of 1993;
- Federal Acquisition Stream lining Act of 1994 (Title V);
- Paper work Reduction Act of 1995;
- Federal Financial Management Improvement Act of 1996;
- Clinger-Cohen Act of +1996 (also known as ITMRA);
- Circular A-11, Preparation and Submission of Budget Estimates;
- Government Paper work Elimination Act of 1998;

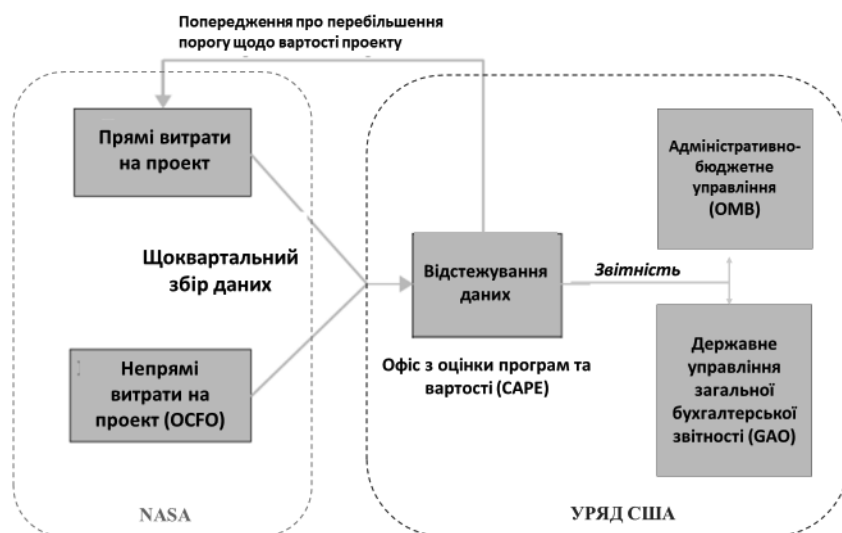


Рис. 1. Процес інтеграції даних NASA про витрати до державних звітів

Circular A-127, Financial Management Systems;
Circular A-123, Management Accountability and Control;

OMB memorandum M-97-02, October 25, 1996, Funding Information Systems Investments;

Circular A-130, Management of Federal Information Resources;

Circular A-76, Competitive Analysis «Performance of Commercial Activities»;

OMB memorandum M-00-07, February 28, 2000, Incorporating and Funding Security in Information Systems Investments [19].

Всі ці регуляторні акти, що входять до нормативно-правової бази США, змушують державні агентства, такі як NASA:

фокусуватися на завданнях агентства, стратегічних цілях NASA та уряду США, ефективності і результатах; приймати стратегічні рішення з питань державних інвестицій;

отримувати найбільшу віддачу від вкладених коштів;

представляти результати належним чином.

Для федеральних виконавчих агенцій правові акти вимагають ґрунтовного планування і економічного аналізу. Ці акти підкріплюються настановами та вимогами щодо звітності, включеними в документи Circulars A-11, A-130, і A-94, які використовуються в процесі складання федерального бюджету адміністративно-бюджетним управлінням (OMB). Перелік розпоряджень Президента США (РМА) ідентифікує п'ять взаємно підсилюючих урядових ініціатив за цим напрямком, реалізація яких контролюється відповідальною структурою.

До оцінювання NASA можна віднести тільки три ініціативи: проведення конкурсного відбору постачальників; поліпшення фінансової діяльності; бюджетування та інтеграційна діяльність.

Одним із способів, за допомогою яких NASA інформує конгрес і адміністративно-бюджетне управління про досягнення своїх цілей, є інтегрування даних щодо витрат і термінів в звітах про бюджетну та зовнішню діяльність, що забезпечує прозорість діяльності Агенції.



Рис. 2. Процес оцінювання витрат в NASA

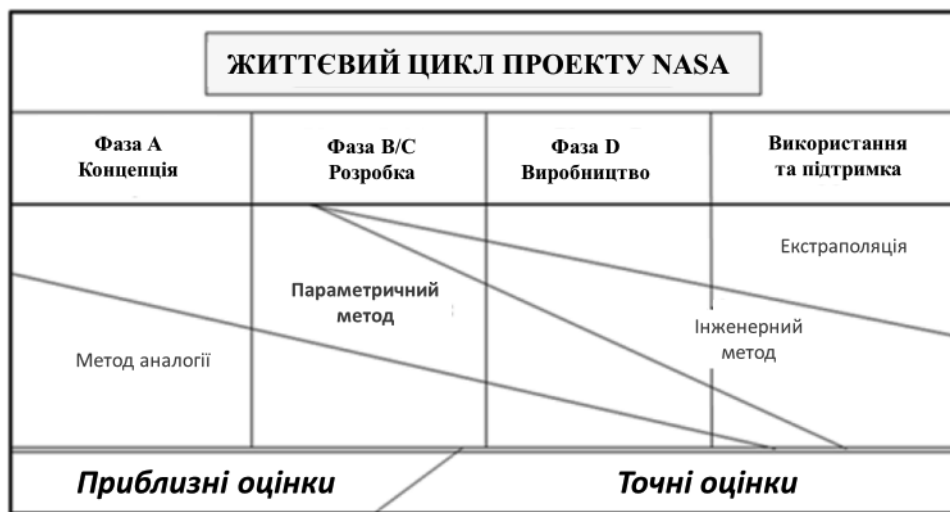


Рис. 3. Використання методів оцінювання витрат впродовж життєвого циклу проекту

Процес інтеграції даних про витрати в NASA до відповідних звітів показаний на рис. 1.

Цей підхід дозволяє NASA проводити оцінки витрат та проводити порівняльний аналіз даних щодо бюджетування з даними зовнішніх звітів, що покращує якість оцінок бюджетних планів і витрат. NASA постійно прагне досягти максимальних результатів при обмеженому бюджеті, для цього Уряд США використовує зовнішню спільноту експертів з оцінювання NASA, яка надає відповідальним особам у структурах NASA точні, надійні і аргументовані оцінки за витратами.

Розглянемо основні стадії процесу оцінки витрат в NASA. На рис. 2 показані основні етапи 12-ти ступеневого процесу оцінювання витрат.

Фаза 1 процесу оцінювання називається Визначення проекту. На цьому етапі експерт з оцінювання з'ясовує причину проведення оцінки, визначає перспективи і починає розуміти суть проекту, який треба оцінити. Коли проведена оцінка і зібрані дані, визначається структура декомпозиції робіт (WBS) і технічний опис проекту. Все це допомагає визначити сам проект, а також сформулювати фундамент для його оцінки. До кожного кроку на цьому етапі експерт, який проводить оцінювання, може повернутися ще раз при отриманні нової інформації.

Фаза 2 процесу оцінювання витрат – Визначення методології витрат, включає чотири завдання, які визначають підхід до оцінювання і структуру оцінки. Ці завдання здійснюються послідовно та ітераційно. Так, якщо це необхідно, до задачі щодо розробки основних правил і припущень повертаються декілька раз вже після проходження кроків вибору методології, розробки моделей витрат та збору даних.

Фаза 3 процесу оцінювання витрат. Оцінка вартості складається з п'яти завдань, що включають саму оцінку, представлення її результатів та їх оновлення на регулярній основі.

Фаза 1: Завдання щодо визначення проекту.

Для того, щоб відповідним чином оцінити проект, життєво важливо, щоб цей проект був ретельно

визначений і зрозумілий експертам з оцінювання. Перші три завдання процесу оцінювання витрат відносяться до цієї фази.

Завдання 1: Отримання запиту від замовника та усвідомлення концепції проекту.

Мета цього завдання – досить щільно взаємодіяти з замовником для збору достатньої інформації про проект, для того, щоб в подальшому виробити точну оцінку.

Завдання 2: Розробка або отримання структури декомпозиції робіт (WBS).

Метою цього завдання є підготовка узгодженої структури робіт за проектом, що включатиме всі елементи проекту, які будуть враховані в оцінці витрат.

Завдання 3: Визначення або отримання технічного опису проекту.

Мета цього завдання – створення загального документа, який в деталях описує проект, використовується командою проекту, а також незалежними оцінювачами для проведення своїх оцінок.

Фаза 2: Завдання щодо визначення методології оцінки витрат.

Наступні чотири завдання процесу оцінювання витрат відносяться до вибору методології для розрахунку витрат, яка буде визначати напрямок та алгоритм процесу оцінювання. Ці чотири завдання детально розглянуті нижче.

Завдання 4: Розробка основних правил і припущень (GR & A).

Метою розробки GR & A є визначення обсягу проекту, супутніх факторів і навколишнього оточення як єдиного цілого, для подальшого його оцінювання.

Завдання 5: Вибір методології оцінки витрат.

Метою цього завдання є вибір найкращої методології оцінювання витрат (або комбінації методологій) для розробки якомога точної оцінки витрат за наявними даними (рис. 3).

При цьому може бути застосована параметрична оцінка, метод аналогій або інженерний метод.

Переваги та недоліки кожної з них наведені нижче в табл. 1, 2 і 3.

Таблиця 1
Переваги та недоліки параметричної / CER методології

Переваги	Недоліки
Метод параметричної оцінки є прекрасним засобом для отримання швидких відповідей на багато питань типу «що, якщо»	Складність розуміння отриманого співвідношення CER (<i>Cost estimating relationship</i> – співвідношення оцінки вартості)
Має статистично обґрунтовані предиктори, які надають інформацію щодо довіри оцінювача до їх прогностичної здатності	Потрібно повністю описувати і документувати вибір вихідних даних, коригування даних, розробку рівнянь, статистичні висновки і висновки щодо їх перевірки та припустимості
Оцінює надійність припущень за допомогою використання реальних спостережень	Збір відповідних даних та генерування статистично коректної CER є зазвичай складним завданням, що потребує багато часу та ресурсів
Достовірність результатів спирається на логічність кореляції, ретельність та системність досліджень, обґрунтованість даних, а також науковий метод	Втрачає прогностичну здатність / довіру за межами відповідного діапазону даних

Таблиця 2
Переваги та недоліки методу аналогії при оцінюванні витрат

Переваги	Недоліки
Заснований на реальних статистичних даних	Покладається на дані в одній точці
Швидкий	Важко знайти відповідний аналог
Точний для малих відхилень від аналога	Вимагає «унормування» для забезпечення точності
Легко розуміється	Покладається на екстраполяцію і / або судження експерта по «коригуючих коефіцієнтах»

Таблиця 3
Переваги та недоліки інженерного методу оцінювання витрат

Переваги	Недоліки
Інтуїтивність	Дорогий; значні зусилля (час і гроші) потрібні для створення оцінок такого типу
Аргументованість	Повільно реагує на зміни (припущення типу "що, якщо")
Достовірність забезпечується наявністю інформації в збірнику документації щодо оцінки (Basis of Estimate – BOE) для кожного елемента витрат	Нові оцінки мають бути «вироблені» для кожного альтернативного сценарію
Роздільність, вся оцінка не є залежною від помилок в оцінці індивідуального елемента вартості	Сам по собі не забезпечує «статистичний» рівень достовірності
Наглядність. Забезпечує глибоке проникнення в сутність основних елементів витрат (наприклад – високовартісні елементи)	Не забезпечує глибокого аналізу факторів, що впливають на зміни вартості
Багаторазовість. Легко переноситься до інших проектів для використання при бюджетуванні та складенні графіків робіт	Відносини (зв'язки) між елементами витрат повинні бути «запрограмовані» аналітиком

Завдання 6: Вибір (розробка) моделі витрат.

Мета цього завдання – вибрати найбільш підходящий варіант моделі (інструменту) або розробити власну модель для оцінювання витрат. Фактори, що впливають на процес вибору, включають дані про доступність ресурсів, часові та вартісні показники.

Завдання 7: Збір і унормування даних.

Мета цього завдання – надати оцінювачу витрат як найбільше інформації, щоб він зміг розробити найбільш точну і якісну модель витрат.

Фаза 3: Завдання щодо оцінки вартості.

Оцінка витрат служить раціональною основою для розробки бюджету, подається для затвердження в Конгресі і президентських структурах. Вона

використовується також для внутрішніх потреб – для проведення експертиз програм і рішень з інвестицій. Останні п'ять завдань процесу оцінювання витрат пов'язані з фактичним створенням і документальним оформленням оцінки. Ці завдання детально розглянуті нижче.

Завдання 8: Розробка оцінки вартості.

Мета цього завдання – створення точкової оцінки витрат життєвого циклу проекту (LCC) і її подальше використання спільно з аналізом ризиків витрат для розробки остаточної оцінки.

Примітка: Точкова оцінка в математичній статистиці – це число, яке обчислюється на основі спостережень, імовірно близьке до оцінюваного параметру.

Завдання 9: Вироблення та врахування оцінок вартісних ризиків.

Мета цього завдання – надати достовірну величину (значення) витрат проекту у вигляді кумулятивної функції розподілу (CDF або «S» – кривий), що визначають діапазон витрат на проєкт.

Завдання 10: Документування оцінки вартості.

Мета цього завдання – проводити на постійній основі документування результатів процесу оцінювання витрат протягом повного життєвого циклу проекту (LCC).

Завдання 11: Презентація результатів оцінювання вартості.

Мета цього завдання – представлення матеріалів оцінки вартості в єдиному (стандартизованому) форматі, зрозумілому для всіх підрозділів (центрів) NASA. Презентація результатів оцінювання вартості має надавати коротку, цілеспрямовану ілюстрацію ключових моментів, які повинні привернути увагу стейкхолдерів до факторів та результатів витрат.

Завдання 12: Постійне оновлення оцінок витрат.

Мета оновлення оцінок витрат – підтвердження адекватності оцінки протягом часу, зменшення періоду її оновлення, можливість для осіб, котрі приймають

рішення, більш чітко уявляти ситуацію при прийнятті основних рішень або розгляді сценарію типу «що, якщо».

Протягом останніх декількох років практика NASA щодо складання бюджету змінилася так, щоб повністю інтегруватися з іншими методами планування і виконання. Так, Агенція використовує загально прийнятий в США процес РРВЕ (програмування, планування, складання бюджету та його виконання) для розподілу ресурсів з використанням універсального, упорядкованого підходу «зверху-вниз».

Метод РРВЕ відповідає завданням і поглядам агенції і переорієнтовує стратегію на здійснення програми, а також зводить воедино пріоритети і довгострокові результати, беручи до уваги обмежені ресурси NASA.

Метод РРВЕ має наступні переваги:

фокусування на забезпеченні успішного виконання стратегічних цілей;

упор на високоякісний, багаторічний аналіз альтернатив і можливостей;

чіткий розподіл основних ролей та відповідальності; повні і інтегровані результати щодо складання бюджету;

зосередження основної уваги на ефективності і управлінні ресурсами;

скорочення коригувань по деталях бюджету; своєчасна, високоефективна бюджетна підтримка завдань NASA;

стабільний план фінансування згідно з технічним завданням для прискореного розподілу фінансування.

Процес планування, проєктування, складання бюджету та виконання, прийнятий в NASA, представлений на рис. 3 [20].

Метод РРВЕ йде далі традиційних в минулому підходів до складання бюджету, визначених у плані програми дій NASA, і виходить на новий рівень аналізу, щоб



Рис. 3. Процес РРВЕ в NASA

забезпечити правильний розподіл ресурсів, досягнення стратегічних цілей і виконання задач Агенції.

ВИСНОВКИ

Ураховуючи процес оцінювання витрат в NASA, доцільно застосувати наведені у статті методологічні підходи для створення науково-методичного апарату з оцінки вартості життєвого циклу, який дозволить забезпечити замовника необхідною інформацією щодо вартісних показників зразків ОБТ для прийняття обґрунтованих рішень стосовно порівняння альтернатив, фінансового планування, контролю витрат, тощо.

Крім того, зважаючи на те, що розглянуті підходи повністю відповідають поглядам, які наведені у публікаціях НАТО AAR-48 «Процеси життєвого циклу систем НАТО» та ALCCP-01 «Керівництво НАТО з вартості життєвого циклу», що регламентують процес оцінювання вартості життєвого циклу озброєнь в Альянсі, вони можуть бути впроваджені в національних стандартах України та відповідних нормативно-правових актах у сфері оборони [21, 22].

При розробці національних підходів до проведення воєнно-економічного аналізу на стадіях розробки та виробництва ОБТ слід звернути увагу на застосування параметричного методу оцінки вартості життєвого циклу, який є гнучким та оперативним інструментом при швидкоплинних процесах змін на початкових етапах життєвого циклу зразка.

Особливий інтерес для подальших досліджень становлять конкретні методи та моделі, що використовуються провідними країнами світу при оцінюванні вартості життєвого циклу продукції оборонного призначення на тих чи інших стадіях.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Hayhurst, M. R. and Wood, B. W. (2017). Mission Operations Cost Estimation Tool (MOCET). IEEE [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7943686>.
2. Friz, P. D., Klovstad, J. J., Leser, B. V. and Towle, B. C. (2018). Blind Study Validating Parametric Costing Tools PRICE True Planning and SEER-H for NASA Science Missions. AIAA SPACE and ... [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2018-5178>.
3. Ivanco, M. L., Domack, M. S., Stoner, M. C. and Hehir, A. R. (2016). Cost-Benefit Analysis for the Advanced Near Net Shape Technology (ANNST) Method for Fabricating Stiffened Cylinders [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20160011472.pdf>.
4. Kellogg, R., Bitten, R. and Mahr, E. (2016). An independent cost and schedule estimate process for NASA science projects. 2016 IEEE Aerospace [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7500904>.
5. Young, L., Josserand, T. M. and Chamberlin, E. P. (2017). Analyzing Cost Estimating and Analysis Organizations within the United States Government [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1477925>.
6. Hamaker, J. W. (1994). But what will it cost? The history of NASA cost estimating [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19950014325.pdf>.
7. Zapata, E. (2017). An Assessment of Cost Improvements in the NASA COTS-CRS Program and Implications for Future NASA Missions [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170008895.pdf>.
8. Jones, H. W. Estimating the lifecycle cost of space systems [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ttu-ir.tdl.org/ttu-ir/bitstream/handle/2346/64311/ICES_2015_submission_41.pdf?sequence=1.
9. Allen, M., Carpenter, C. and Hutchins, M. (2015). Impact of Risk Management on Project Cost: An Industry Comparison. J. of Information Technology & Economic Development. Oct., 2015, Vol. 6. Iss. 2, pp. 1–19.
10. Trudelle, R., White, E. D. and Koschnick, C. (2017). Research J.: A. Estimating an acquisition program's like lihood of staying within cost and schedule bounds [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/profile/Tony_White7/publication/320089738_Estimating_an_acquisition_program%27s_likelihood_of_staying_within_cost_and_schedule_bounds/links/5a3984e80f7e9baa5017a057/Estimating-an-acquisition-programs-likelihood-of-staying-within-cost-and-schedule-bounds.pdf.
11. Hueber, C., Horejsi, K. and Schledjewski, R. (2016). Review of cost estimation: method and models for aerospace composite manufacturing. Manufacturing: Polymer & ... [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/20550340.2016.1154642>.
12. Hunt, C. D. and Vanpelt, M. O. (2004). Comparing NASA and ESA cost estimating methods for human missions to Mars [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20040075697.pdf>.
13. Shao, A., Wertz, J. R. and Koltz, E. A. (2017). Quantifying the cost reduction potential for earth observation satellites.– Proc. of the 12th Reinventing Space [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://smad.com/wp-content/uploads/2014/11/RS-Paper_Final.pdf.
14. Owens, A. and O. de Weck (2016). Sensitivity Analysis of the Advanced Missions Cost Model [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ttu-ir.tdl.org/ttu-ir/bitstream/handle/2346/67725/ICES_2016_419.pdf?sequence=1.
15. Теорія озброєння. Науково-технічні проблеми та завдання. Т. 6. Воєнно-економічний аналіз життєвого циклу озброєння та військової техніки: теоретико-методологічні засади: монографія / Чепков І. Б. та ін. Київ: Видавничий Дім Дмитра Бураго, 2018. 475 с.

16. Керівництво NASA з оцінки вартості. 4-те вид. США [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/01_CEH_Main_Body_02_27_15.pdf.
17. Довідник з управління проектами (PMBOK® Guide), PMI, 6-те вид. США, 2017. 537 с.
18. NPR 7120.5, NASA Space Flight Program and Project Management: Handbook, 2010 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.nasa.gov/pdf/423715main_NPR_7120-5_HB_FINAL-02-25-10.pdf.
19. Волков В. А. Методы оценки и управления реализуемостью проектов по созданию ракетно-космической техники: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Московский гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана. М., 2015. 149 с.
20. NASA Financial Management Requirements. Vol. 4. Planning Programming Budgeting and Execution. July, 2006 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.nasa.gov/pdf/205423main_vol4_budget_formulation.pdf.
21. Публікація НАТО ААР-48 «Процеси життєвого циклу систем НАТО».
22. Публікація НАТО ALCCP-01 «Керівництво НАТО з вартості життєвого циклу».
8. Jones, H. W. Estimating the lifecycle cost of space systems, available at: https://ttu-ir.tdl.org/ttu-ir/bitstream/handle/2346/64311/ICES_2015_submission_41.pdf?sequence=1.
9. Allen, M., Carpenter, C. and Hutchins, M. (2015). Impact of Risk Management on Project Cost: An Industry Comparison. *J. of Information Technology & Economic Development*. Oct., 2015, Vol. 6. Iss. 2, pp. 1–19.
10. Trudelle, R., White, E. D. and Koschnick, C. (2017). Research J.: A. Estimating an acquisition program's like lihood of staying within cost and schedule bounds, available at: https://www.researchgate.net/profile/Tony_White7/publication/320089738_Estimating_an_acquisition_program%27s_likelihood_of_staying_within_cost_and_schedule_bounds/links/5a3984e80f7e9baa5017a057/Estimating-an-acquisition-programs-likelihood-of-staying-within-cost-and-schedule-bounds.pdf.
11. Hueber, C., Horejsi, K. and Schledjewski, R. (2016). Review of cost estimation: method and models for aerospace composite manufacturing. *Manufacturing: Polymer & ...* available at: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/20550340.2016.1154642>.
12. Hunt, C. D. and Vanpelt, M. O. (2004). Comparing NASA and ESA cost estimating methods for human missions to Mars, available at: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20040075697.pdf>.
13. Shao, A., Wertz, J. R. and Koltz, E. A. (2017). Quantifying the cost reduction potential for earth observation satellites. *Proc. of the 12th Reinventing Space*, available at: http://smad.com/wp-content/uploads/2014/11/RS-Paper_Final.pdf.
14. Owens, A. and O. de Weck (2016). Sensitivity Analysis of the Advanced Missions Cost Model, available at: https://ttu-ir.tdl.org/ttu-ir/bitstream/handle/2346/67725/ICES_2016_419.pdf?sequence=1.
15. Chepkov, I. B. and etc. “Teoriya ozbroynennya. Naukovo-tekhichni problemy ta zavdannya. T. 6. Voyenno-ekonomichnyy analiz zhyttyevoho tsykladu ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki: teoretyko-metodolohichni zasady: monohrafiya” [The theory of armaments. Scientific and technical problems and tasks. Vol. 6. Military-Economic Analysis of the Life Cycle of Armaments: Theoretical and Methodological Foundations: monograph], Dmitry Burago publ. house, K., 2018. 475 p.

REFERENCES

1. Hayhurst, M. R. and Wood, B. W. (2017). Mission Operations Cost Estimation Tool (MOCET). IEEE, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7943686>.
2. Friz, P. D., Klovstad, J. J., Leser, B. B. and Towle, B. C. (2018). Blind Study Validating Parametric Costing Tools PRICE True Planning and SEER-H for NASA Science Missions. *AIAA SPACE and ...* available at: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2018-5178>.
3. Ivanco, M. L., Domack, M. S., Stoner, M. C. and Hehir, A. R. (2016). Cost-Benefit Analysis for the Advanced Near Net Shape Technology (ANNST) Method for Fabricating Stiffened Cylinders, available at: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20160011472.pdf>.
4. Kellogg, R., Bitten, R. and Mahr, E. (2016). An independent cost and schedule estimate process for NASA science projects. 2016 IEEE Aerospace, available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7500904>.
5. Young, L., Jossierand, T. M. and Chamberlin, E. P. (2017). Analyzing Cost Estimating and Analysis Organizations within the United States Government, available at: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1477925>.
6. Hamaker, J. W. (1994). But what will it cost? The history of NASA cost estimating, available at: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19950014325.pdf>.
7. Zapata, E. (2017). An Assessment of Cost Improvements in the NASA COTS-CRS Program and Implications for Future NASA Missions, available at: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170008895.pdf>.
8. “Kerivnytsstvo NASA z otsinky vartosti. 4-te vyd. SSHA” [NASA Cost Estimating Handbook Version. 4th ed. USA] available at: https://www.nasa.gov/sites/default/files/files/01_CEH_Main_Body_02_27_15.pdf.
17. “Dovidnyk z upravlinnya proektamy (PMBOK® Guide), RMI, 6-te vyd. SSHA” [Guide to the project management (PMBOK® Guide), PMI, Version 6.0. USA] 2017. 537 p.
18. NPR 7120.5, NASA Space Flight Program and Project Management: Handbook, 2010, available at: https://www.nasa.gov/pdf/423715main_NPR_7120-5_HB_FINAL-02-25-10.pdf.

19. Volkov, V. A. (2015). "Metody otsenki i upravleniya realizuyemost'yu proyektov po sozdaniyu raketno-kosmicheskoy tekhniki: dissertation" [Methods of evaluation and management of the feasibility of projects for the development of rocket and space technology: dissertation], Moscow State Techn. Univ. n. a. N. E. Bauman. M., 149 p.
20. NASA Financial Management Requirements. Vol. 4. Planning Programming Budgeting and Execution. July, 2006, available at: https://www.nasa.gov/pdf/205423main_vol4_budget_formulation.pdf.
21. "Publikatsiya NATO AAP-48 «Protsey zhyttyevoho tsykladu system NATO»" [NATO Publication AAP-48 "The Process Lifecycle of NATO Systems"].
22. "Publikatsiya NATO ALCCP-01 «Kerivnytstvo NATO z vartosti zhyttyevoho tsykladu»" [NATO Publication ALCCP-01 «NATO's Lifecycle Guide»].

Відомості про автора:**Коробченко Сергій Олегович**

начальник науково-дослідного відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7650-5935>
e-mail: s.korobchenko@mil.gov.ua

Information about the author:**Serhii Korobchenko**

Head of the Research department of the Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7650-5935>
e-mail: s.korobchenko@mil.gov.ua

Стаття надійшла до редколегії 17.10.2019 р.

УДК 355.02+004.91

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4\(24\).12-21](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4(24).12-21)

О. О. ГОЛОВІН, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>

(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

Таксономічне відображення інформаційних ресурсів дослідно-конструкторських робіт

У статті показано, що структурне відображення як окремого документу, так й досить великої за обсягом колекції документів найбільш конструктивно реалізувати у вигляді певної множини таксономій. Побудову таксономії запропоновано здійснити на основі логіко-лінгвістичної моделі, яка має вигляд зростаючої пірамідальної мережі. Взаємодія між концептами кожної таксономії, що виділена з різних класів концептів предметної області, визначається відношенням унівалентності. З урахуванням вимог щодо обсягу документів, які визначають увесь регламент виконання дослідно-конструкторських робіт, побудовано орієнтовну таксономічну структуру рішень, які приймаються під час їх проведення, та сформовано узагальнену компонентну архітектуру відповідного єдиного інформаційного середовища.

Ключові слова: інформаційно-аналітична система, таксономія, предметна область, логіко-лінгвістичні моделі, зростаюча пірамідальна мережа, унівалентність, нарратив інформаційних ресурсів

В статье показано, что структурное отображение как отдельного документа, так и достаточно большой по объему коллекции документов наиболее конструктивно реализовать в виде определенного множества таксономий. Построение таксономии предложено осуществить на основе логико-лингвистической модели, которая имеет вид растущей пирамидальной сети. Взаимодействие между концептами каждой таксономии, выделенной из разных классов концептов предметной области, определяется отношением унивалентности. С учетом требований к объему документов, определяющих весь регламент выполнения опытно-конструкторских работ, построено ориентировочную таксономическую структуру решений, которые принимаются во время их проведения и сформировано обобщенную компонентную архитектуру соответствующей единой информационной среды.

Ключевые слова: информационно-аналитическая система, таксономия, предметная область, логико-лингвистические модели, растущая пирамидальная сеть, унивалентность, нарратив информационных ресурсов.

ВСТУП

Ступінь обґрунтованості рішень, що приймаються на етапах відкриття та виконання дослідно-конструкторських робіт (ДКР) зі створення (модернізації) зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) визначається низкою факторів, зокрема якістю і повнотою інформації, що використовується (рівнем інформаційно-аналітичного забезпечення підтримки процесів формування та вибору таких рішень).

Основу аналітичної діяльності експертів та осіб, що приймають рішення в процесі виконання ДКР, становлять інформаційні ресурси, наративи яких характеризують властивості й функціональність усієї номенклатури засобів ОВТ. Сюди також необхідно віднести наративи описів науково-технічної продукції, ГОСТ, ДСТУ, STANAG, які можуть бути використані для модернізації наявних чи для створення новітніх зразків ОВТ.

Разом з тим, без наявності відповідних аналітичних сервісів, зазначені ресурси являють собою лише пасивну компоненту інформаційного простору ЗС України. Їх оброблення носить частковий характер, що не відображає їх інтегративний характер й суттєво знижує ефективність їх використання, про що свідчить сучасний стан інформаційно-аналітичного забезпечення ЗС України.

Оброблення інформаційних ресурсів, що використовуються при виконанні ДКР, потребує застосування відповідного програмно-інформаційного забезпечення, що спроможне реалізовувати інтелектуальні когнітивні сервіси інтегрованого аналітичного оброблення усього наративу описів ОВТ. Такі сервіси повинні обов'язково забезпечувати процеси семантичного контент-аналізу та структурного відображення результатів цього аналізу усіх системних складових, а саме: їх властивостей, функціональних характеристик та міжсистемних зв'язків, включаючи посилання на технологічні процеси виробництва з урахуванням національних та міжнародних стандартів тощо.

Проведений аналіз стану розвитку інформаційних систем дозволяє стверджувати, що на сьогодні існує дві основні проблеми, які потребують вирішення з метою забезпечення ефективного функціонування перспективної інформаційно-аналітичної системи підтримки процесів оснащення і розвитку ОВТ ЗС України (ІАС ПШОР ОВТ).

По-перше, це недосконалість механізмів реалізації інтерактивних сервісів для експертів-користувачів, де з одного боку – дуже висока гетерогенність технічних платформ, а з іншого – досить різний рівень підготовки (різна спеціалізація) осіб, що приймають рішення, операторів та споживачів інформації.

По-друге, відсутність ефективних процедур (механізмів, алгоритмів, методів та методик) використання інтелектуальних засобів оброблення інформаційних ресурсів в МО України і ЗС України, до яких в першу чергу треба віднести:

контент-аналіз і структурування мережевих інформаційних масивів;

агрегування їх контекстів до контуру обробки інформації;

недосконалість механізмів інтеграції засобів добування і формування знань про керовані процеси;

виявлення та ідентифікація латентних об'єктів і процесів у мережецентричному гіперінформаційному просторі ЗС України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Шляхи підвищення ефективності взаємодії міністерств (відомств), структурних підрозділів МО України та ГШ ЗС України при рішенні задач управління розвитком ОВТ досліджено у роботах [1, 2]. Особливості формувань нових знань та деякі аспекти застосування логіко-лінгвістичних моделей в системах інформаційно-аналітичного забезпечення процесів технічного оснащення Збройних Сил України висвітлені у [3, 4]. Робота [5] присвячена дослідженню питань побудови таксономії документів для формування ієрархічних шарів в геоінформаційній системі. Разом з тим, проблеми формування таксономій інформаційних ресурсів в системі управління розвитком ОВТ досі залишаються не вирішеними.

Мета статті – сформулювати підходи до реалізації таксономічної системи дій над наративом документів, що розробляються в ході проведення ДКР та побудови на її основі узагальненої компонентної архітектури єдиного інформаційного середовища виконання зазначених робіт.

В сучасних умовах, у якості бази для створення єдиного інформаційного простору доцільно розглядати процедури трансдисциплінарних онтологій [6–13]. У даному випадку, структурне відображення як окремого документу, так й досить великої за обсягом колекції документів, найбільш конструктивно реалізувати у вигляді певної множини таксономій. При цьому, під цифровою колекцією документів розуміється процедура систематизації документальних мережевих ресурсів (big data sources) множиною природномовних текстів, що об'єднані за однією ознакою або сукупністю ознак (мовних, понятійних, прагматичних, часових, стильових, функціональних, інтенціональних та ін.). Цифрові колекції документів створюють умови щодо проведення лінгвістично-семантичного аналізу текстів, що дозволяє автоматично знайти фрази, у яких використовуються терміни в текстах відповідних документів.

Таксономія документів (Т) [12–15] розглядається як певний результат застосування когнітивної процедури структуризації текстових масивів на основі системологічного представлення їх термінологічної системи у ієрархічному вигляді. Результатом застосування процедури таксономізації текстів є предствлення їх структури у вигляді графа без циклів, кожна вершина якого містить відповідні контексти, зміст яких складають семантичні описи та характеристики відповідних термінів та словосполучень.

Таксономія забезпечує виділення класифікаційних одиниць текстового масиву, які характеризують його семантику та призначення, а також відображає упорядкованість взаємодії між термінологічними конструкціями.

Таксономічне представлення повної сукупності документів, які характеризують усі етапи виконання ДКР,

створює технологічні умови щодо формування їх цифрової колекції.

Слід зазначити, що таксономія, як множинне ієрархічне впорядкування термінів певної колекції документів, реалізується у вигляді логіко-лінгвістичної моделі, яка має вигляд зростаючої пірамідальної мережі [4, 16]. На основі цієї моделі терміни з природномовних документів виділяються за допомогою процедур та програмних засобів лінгвістично-семантичного аналізу текстів. Засоби аналізу текстів забезпечують також автоматичне виділення контекстів, у яких використовуються відповідні терміни, та здійснюється їх представлення у вигляді спеціалізованої XML-структури. Спеціально розроблений додаток дозволяє автоматично заповнити контексти вершин графа на основі збігу назв вершин та імен термінів за результатами лінгвістично-семантичного аналізу текстів.

Враховуючи великий обсяг інформації, що циркулює в ІАС ППОР ОВТ при супроводженні процесів виконання ДКР, пропонується здійснювати трансдисциплінарну категоризацію контекстів – системологічне, динамічне формування класів контекстних описів на основі утворення стійких бінарних сполучень між визначеними термінами, фразами та словоформами. При цьому вказані бінарні сполучення утворюються на основі прояву гіпервластивостей з замкнутої множини \mathfrak{R}_3 , елементами якої є наступні гіпервластивості: рефлексія \mathfrak{R}_f , рекурсія \mathfrak{R}_k та редукція \mathfrak{R}_d :

$$\mathfrak{R}_3 = \{\mathfrak{R}_f, \mathfrak{R}_k, \mathfrak{R}_d\}. \quad (1)$$

Також важливим завданням при побудові ІАС ППОР ОВТ є формування логіко-лінгвістичної моделі наративу.

Логіко-лінгвістична модель (модель, у якій основними елементами є не числа і обчислювальні операції, а імена та логічні зв'язки) має бути універсальною і дозволяти разом обробляти як нечислові, так і числові значення змінних, розглядаючи останні як номінальні значення без визначення відношення порядку. Однією з можливих добре апробованих реалізацій логіко-лінгвістичних моделей є зростаюча пірамідальна мережа (ЗПМ) [17].

Важливою властивістю пам'яті ЗПМ, на базі якої стають можливими процеси логікового аналізу даних, є властивість структурування інформації одночасно із її сприйняттям. У цьому випадку формування структури пам'яті відбувається за рахунок взаємодії інформації, що сприймається, і інформації, яка вже зберігається у мережі. В результаті здійснення процесів структурування інформації встановлюється семантична й синтаксична близькість інформації. Знайдені асоціативні зв'язки закріплюються у структурних змінах пам'яті інформаційно-аналітичної системи. Реалізацію таксономічних систем довільних документів пропонується реалізувати на основі пірамідальних мереж [5, 16].

Згідно [5, 16] під пірамідальною мережею Θ розуміється ациклічний орієнтований граф $\Theta = (X, E)$, в якому відсутні вершини, які мають одну вхідну дугу. Так, $X = \{x_i \mid i = \overline{1, n_1}\}$ – множина вершин мережі (концепти

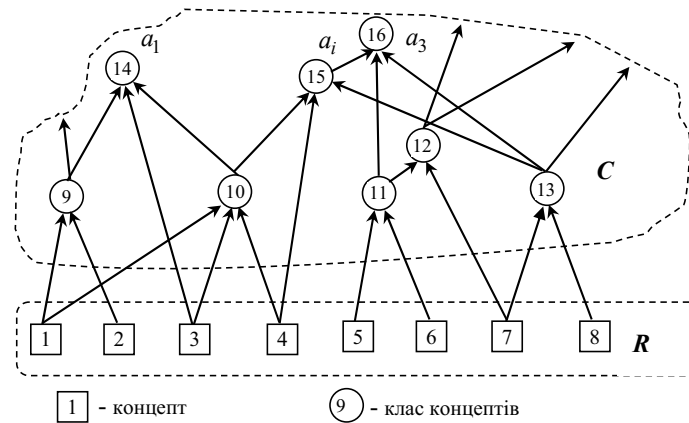


Рис. 1. Приклад семантичної мережі пірамідальної структури

документу), де x_i – довільна вершина мережі, n_1 – кількість вершин у мережі. $E = \{e_i | i = \overline{1, n_2}\}$ – множина дуг мережі, де e_i – довільна дуга, n_2 – кількість дуг у мережі [5, 16].

Приклад семантичної мережі пірамідальної структури наведено на рис. 1, де представлено модифіковану під таксономічну систему структуру пірамідальної мережі.

Вершини, які не мають вхідних дуг, утворюють термінальні концепти (терміналі), інші вершини утворюють класи концептів (класи). Терміналі відповідають окремим значенням ознак з описів об'єктів. Класи відповідають комбінаціям значень ознак, що ідентифікують об'єкт в цілому, або відповідним спільним частинам описів декількох об'єктів.

Множина вершин пірамідальної мережі – це множина $X = R \cup C$, де $R = \{r_j | j = \overline{1, n_3}\}$ – множина терміналів пірамідальної мережі; r_j – довільний терміналі мережі; n_3 – кількість терміналів у мережі; $C = \{c_k^1 | k = \overline{1, m}\}$ – множина концептів пірамідальної мережі; c_k^1 – довільний концепт мережі; $l = \text{Card}(R_{c_k^1})$ – рівень концептів у мережі, який дорівнює кількості терміналів, з якими він зв'язаний вхідними дугами; m – кількість класів у мережі.

Підграф пірамідальної мережі, що включає вершину C та всі вершини, з яких існує шлях до C , називається пірамідою вершини C . Вершини, що входять до піраміди вершини C , утворюють її підмножину, яку позначимо F_c . Вершини, які належать до F_c та безпосередньо зв'язані з вершиною C ребром, будемо називати 0-підмножиною вершини C . Множина вершин, до яких входить вершина C , називається її супермножиною, яку позначимо як S_c .

Будь-яка онтологічна система формується на основі структурованого представлення предметної області її застосування. Зазвичай основу структурування складають класи об'єктів [18], на які умовно розбивається множина всіх понять, властивості яких визначають семантику предметної області. Безпосередньо властивості концептів за рахунок утворення бінарних зв'язків з

гіпервластивостями множини $\mathfrak{R}3$ дозволяють визначити множину класів відношень між ними.

Утворення кожного такого класу реалізується наступним образом. Спочатку кожен такий клас іменується й подальше наповнюється концептами документу, які мають бінарне відношення з іменем класу на основі утворення стійкого бінарного відношення між його властивістю та одним з гіпервідношень замкнутої множини $\mathfrak{R}3$. Таке відношення має вигляд:

$$\langle r_{kc}^t, \mathfrak{R}_g \rangle | r_{kc}^t \in \mathfrak{R}_{kc}^T | \mathfrak{R}_g \in \mathfrak{R}3, g \in \{f, c, d\}, \quad (2)$$

де T – тип концепту, t – властивість типу, kc – спеціальний індекс, що визначає концепт.

Множинність наведеного бінарного відношення визначається тим, що воно зв'язує деякий набір концептів з ім'ям класу, який утворює даний набір концептів.

$$\{x_{kc}^t < r_{kc}^t, \mathfrak{R}_g > X_{kc}^T\}, \quad (3)$$

де X_{kc}^T – ім'я класу, що був утворений набором концептів x_{kc}^t .

Класи концептів також є елементами таксономії документу, й можуть утворювати нові класи:

$$\{Y_{kc}^{t_i} < \mathfrak{R}_{kc}^{T^j}, \mathfrak{R}_g > X_{kc}^{t_n}\} \cong X_{kc}^{T_i}. \quad (4)$$

Представлення ім'я класу виду $X_{kc}^{t_n}$ каже, що цей клас утворено з концептів, які мають t_n -ю властивість.

Над кожним класом, як елементом таксономії певної складності, визначається бінарне відношення її часткової упорядкованості. Уся сукупність класів утворює повну таксономічну систему документу, над якою може бути визначена повна часткова упорядкованість. Тоді коренева вершина таксономії усього документу є нерухомою точкою множини, яка включає усі концепти документу. Таксономічна система, що утворюється на основі вказаної множини концептів з нерухомою точкою, також є повною. Для повної таксономічної системи однією з нерухомих точок є ім'я цього документу.

Більш того, повна таксономічна система є структурованим об'єктом й може розглядатися з позицій гомотопічної теорії типів [19]. Таксономія, як структурований

об'єкт, утворюється на основі стійких бінарних сполучень між концептами документів. Таким чином її можна також розглядати як бінарне дерево [15], яке також є гомотопічним типом, й характеризується гіпервластивістю унівалентності [13, 19]. Це дозволяє стверджувати, що таксономія довільного документу унівалентна усьому простору бінарних дерев, які можна утворити з його концептів:

$$T \cong B_D, \quad (5)$$

де B_D – довільне бінарне дерево.

Будь-яка таксономічна система T формується на основі структурованого представлення предметної області її застосування. Зазвичай основу структурування складають класи об'єктів [18], на які умовно розбивається множина всіх понять, властивості яких визначають семантику предметної області. Безпосередньо властивості концептів дозволяють визначити множину відношень між ними. Множинні бінарні відношення упорядкованості складають тип гіпервідношень, які мають властивості унівалентності [19] і за рахунок цього забезпечують формування з класів концептів різних таксономічних структур.

Слід зазначити, що повна таксономічна система формується на основі виділення певної підмножини концептів, які мають загальну характеристичну властивість. Така властивість може бути унарною для кожного концепту, проте при визначенні зазначеного класу, як складного концепту, така властивість дозволяє визначити над усіма концептами класу множинне бінарне відношення (*бути елементом класу*). При цьому слід зазначити, що унарна властивість, яка є загальною для множини концептів предметної області, може інтерпретуватися як ознака цих концептів, або як критерій для вибору концептів даного класу.

Так, під час вибору концептів-кандидатів для формування певної категорії – класу (class), спочатку визначається властивість-ознака, на підставі якої дана категорія може бути представлена як складний концепт. При цьому, включення до категорії-класу конкретного простого концепту, або поняття з менш складною структурою ґрунтується на унарній властивості-критерії, що характеризує його, та є загальною для всіх концептів цієї категорії-класу. Зазначена загальна властивість дозволяє визначити для даної категорії бінарне відношення «частина – ціле», яке також задає часткову упорядкованість [20, 21] над усіма концептами категорії, що формується.

Таким чином, множина бінарного відношення часткової упорядкованості може бути задана на основі бінарного відношення «частина – ціле», яке можна переписати у вигляді множинного відношення – «група об'єктів – об'єкт». Поняття «група об'єктів» визначає ім'я складного концепту-класу, який є таксономічною категорією для розглянутої предметної області. Вибір концептів для їх включення в таксономічну категорію за загальними семантичними властивостями можемо розглядати як об'єднання одноелементних множин, де кожна така множина визначена конкретним концептом

предметної області з обраною загальною для них властивістю-критерієм.

Конструктивність застосування процедури вибору проявляється можливістю точного визначення необхідного елемента для формування таксономії. Перевага критеріального вибору в даному випадку не залежить від методу ранжування. Таксономія задається концептами із загальною властивістю, над якими визначається множинне бінарне відношення часткової упорядкованості виду $x_i^j \tilde{p} x_i^k \xrightarrow{\alpha} x_i^j p x_i^k$, у якому концепти мають властивості часткової впорядкованості \tilde{p} та лінійної впорядкованості p [17].

Таксономія може бути визначена для будь-якого складного концепту, тобто за замовчуванням вона може бути утворена бінарним відношенням лінійної упорядкованості «частина – ціле». Відношення «частина – ціле» може бути розширено до множинного відношення «група об'єктів – об'єкт» і далі до «бути елементом класу» та/або «бути елементом категорії».

Гіпервідношення Gr , задане над множинними бінарними відношеннями упорядкованості, що визначають таксономію, дозволяє сформулювати предикативні вирази на основі її концептів із заданим множинним відношенням унівалентності (\cong), яке поглинає відношення часткової упорядкованості. Це поглинання одного гіпервідношення іншим має вигляд:

$$\begin{aligned} & \left(x_i^j \tilde{p} x_i^k \xrightarrow{\alpha} x_i^j p x_i^k \right) \vee (\cong) = \\ & = (\cong) \vee \left(x_i^j \tilde{p} x_i^k \right) \rightarrow (\cong) \vee x_i^j p x_i^k \end{aligned} \quad (6)$$

Фактично вказане унівалентне поглинання визначає рівні еквівалентності таксономічних систем, які відображають документи, що мають спільні властивості. За результатами формування множини класів концептів таксономічної системи та за допомогою унівалентності отримуємо метатаксономію, концептами якої є задане множинне бінарне відношення «частина – ціле». Така таксономія може мати складну структуру низхідних ієрархій. Кожний складник являє собою клас концептів, що мають як мінімум одну загальну семантичну властивість [17].

На основі виразів (1-6) та предикату, що наведений у роботі [17], визначимо характеристичний предикат, який характеризує повну таксономічну систему:

$$\begin{aligned} Pr(x_1, \dots, x_n) = 0 & \Rightarrow \exists T : \forall x \in \\ & \in T, \exists \tilde{T} \subset T : \exists \tilde{T} \rightarrow \cong \vee T \end{aligned} \quad (6)$$

Отже, відношення унівалентності визначає взаємодію між концептами кожної таксономії, що виділена з різних класів концептів предметної області й, відповідно, дозволяє визначити нові види таксономічних систем.

Зазначений підхід (1-6) дозволяє реалізувати таксономічне представлення цифрової колекції усієї сукупності документів, що розробляються під час виконання ДКР зі створення (модернізації) зразків ОБТ.

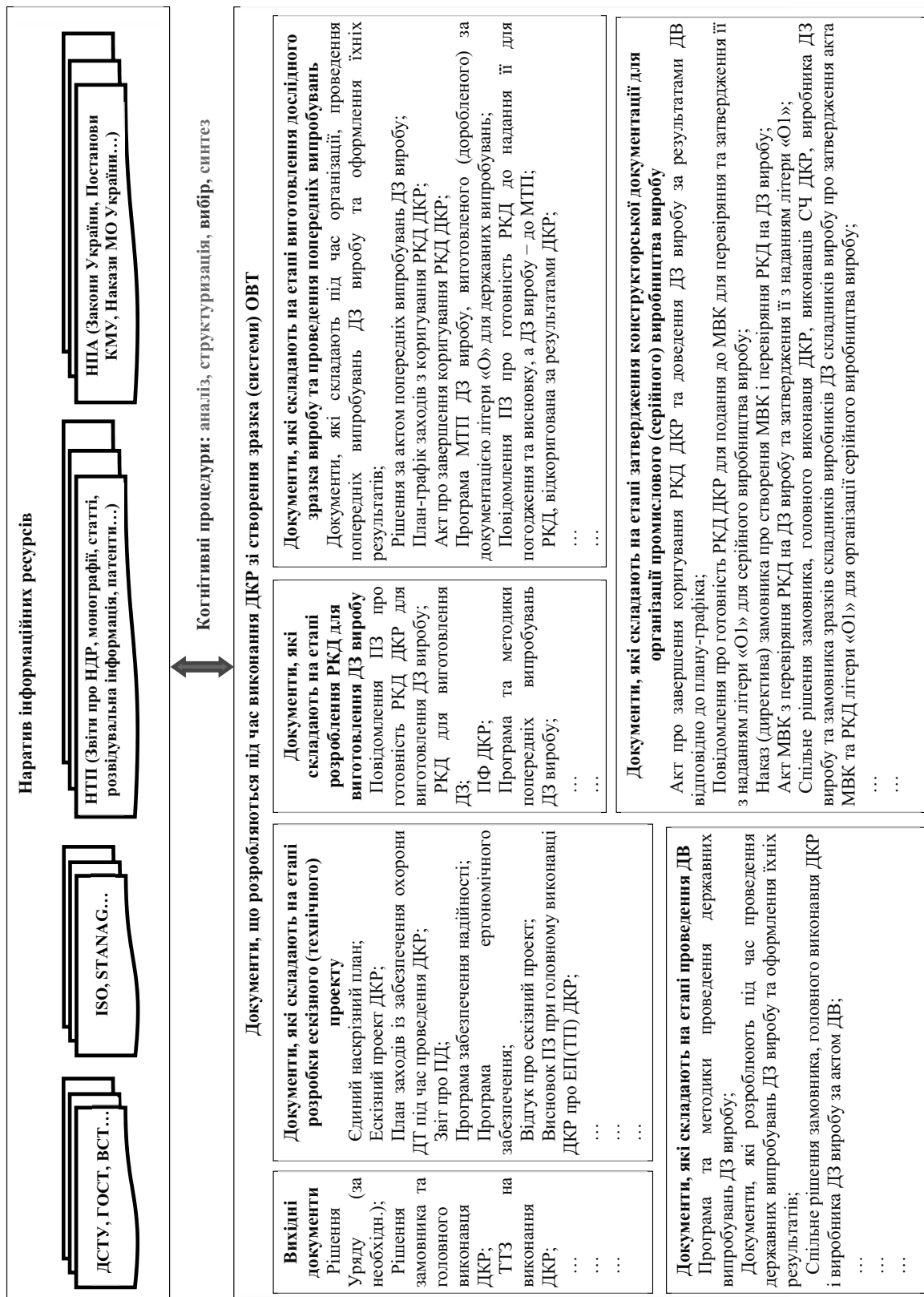


Рис. 2. Узагальнена компонентна архітектура єдиного інформаційного середовища виконання ДКР

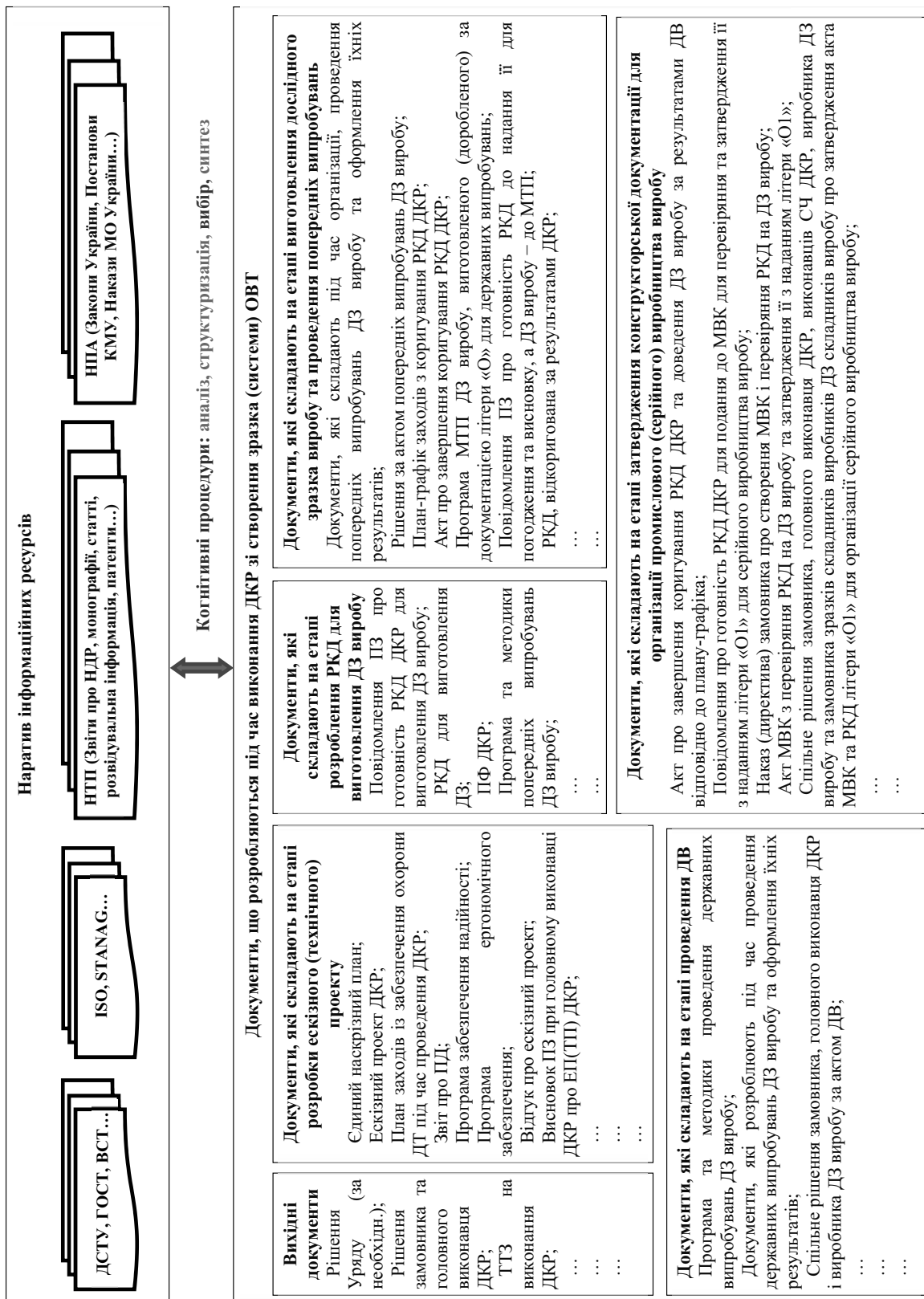


Рис. 2. Узагальнена компонентна архітектура єдиного інформаційного середовища виконання ДКР

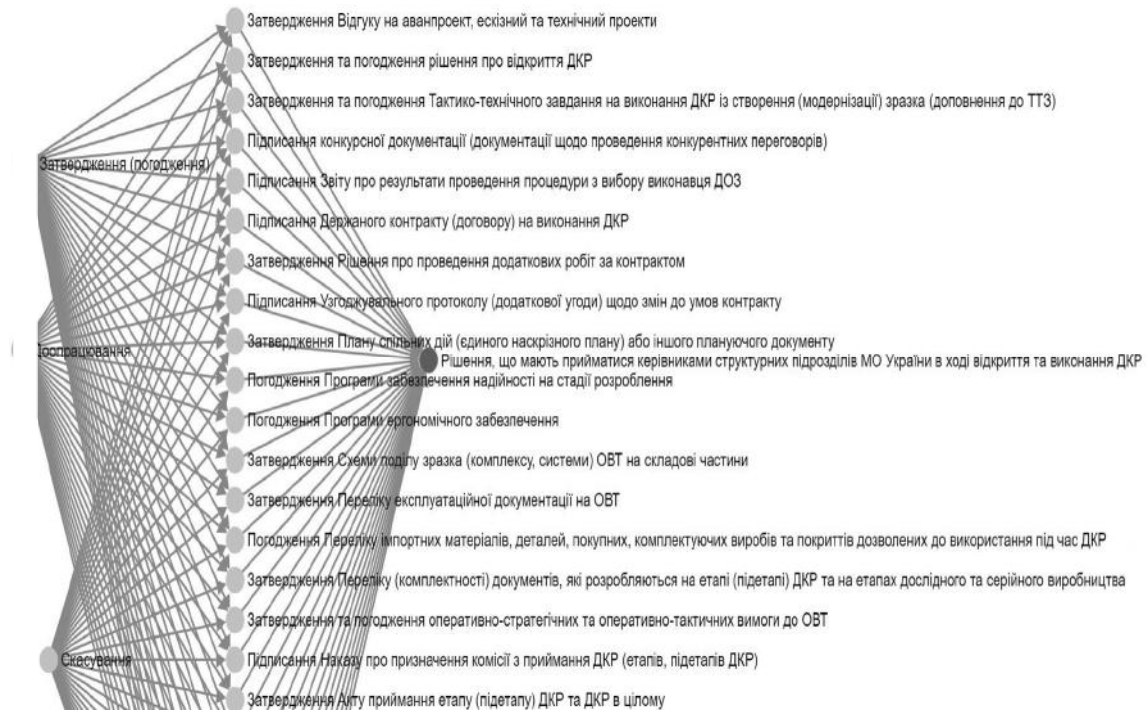


Рис. 3. Таксономічна система дій над наративом документів, що розробляються в ході виконання ДКР

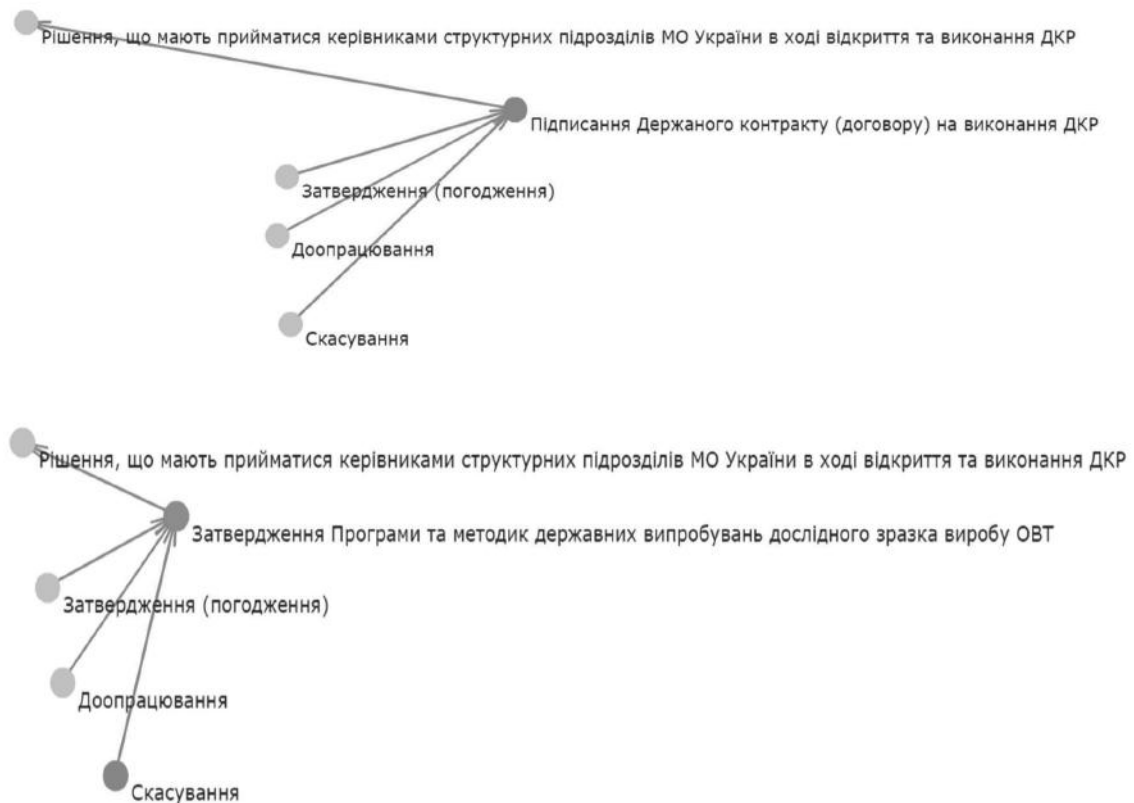


Рис. 4. Приклади таксономічного відображення фрагментарних дій щодо виконання ДКР

З урахуванням вимог щодо обсягу документів, які визначають увесь регламент проведення ДКР [22–24] на рис. 2 представлено узагальнену компонентну архітектуру єдиного інформаційного середовища виконання зазначених робіт.

При формуванні наведеної архітектури передбачається, що у якості основних документів, які формують наратив інформаційних ресурсів, використовуються стандарти різних видів, що визначають вимоги до порядку виконання та змісту робіт на кожному етапі ДКР (ДСТУ, ГОСТ, ВСТ, ISO, STANAG та ін.), науково-технічна продукція (Звіти про НДР, монографії, статті, розвідувальна інформація, патенти), нормативно-правові акти (Закони України, Постанови КМУ, Накази МО України та інших відомств, що залучені до процесів розвитку ОБТ) та ін.

Усі наведені інформаційні ресурси відзначаються багатоаспектністю, нечіткістю, мінливістю характеру процесів змін в часі, наявністю інформації з обмеженим доступом, множинними латентними зв'язками та, відповідно, відносяться до класу слабкоструктурованих.

Досить об'ємна за обсягом кількість документів, що розробляються на кожному етапі виконання ДКР, потребує застосування сучасних когнітивних ІТ-технологій, які здатні забезпечити профільних експертів та фахівців інформаційно-аналітичними засобами підтримки прийняття раціональних рішень на основі аналізу та оцінювання наративу інформаційних ресурсів.

Засоби, які спроможні підтримувати процеси конструктивного вирішення вказаних проблем, визначаються на основі розв'язання наступних категорій когнітивних метазадач: структуризація, аналіз/виділення проблеми, синтез, вибір та мають забезпечувати врахування повної контекстної зв'язності інтегрованого наративу інформаційного простору.

Відповідно до рис. 2 у табл. 1 наведено орієнтовний спектр дій керівників структурних підрозділів МО України у процесі створення та оброблення вказаних документів на етапах відкриття та виконання ДКР.

Водночас, перелік документів та можливих альтернатив рішень, що приймаються, може бути уточнений Замовником ДКР.

Вказані дії аксіоматичні для усіх документів табл. 1. На підставі зазначеного, можливо побудувати загальну таксономію для опису усього процесу виконання ДКР. Фрагмент зазначеної таксономії представлений на рис. 3.

Так, наведена на рис. 3 таксономічна структура фактично відображає взаємозв'язок усіх документів, які використовуються та створюються у процесі виконання ДКР. Такий підхід з урахуванням (1–6) дозволяє створити умови щодо валідного експертного супроводження кожного етапу ДКР. Більш того, вказана таксономія забезпечує відслідковування синхронності процесів виконання ДКР на рівні встановлення унівалентності між кожним процесом, який визначається нормативними документами щодо проведення відповідних робіт.

ВИСНОВКИ

Використання таксономій дозволяє сформувати єдиний інформаційний простір мережецентричних інтерактивних баз даних і знань інформаційних ресурсів та документів, що розробляються в ході виконання ДКР.

Таксономічні системи документів, які визначають регламенти виконання ДКР та документів, що створюються у процесі їх виконання, є конструктивним інструментом експертного супроводження довільної ДКР.

Реалізація логіко-лінгвістичних моделей у вигляді зростаючої пірамідальної мережі та таксономій дозволяє виявити надлишковість чи неповноту окремих документів за результатами аналізу ходу виконання ДКР відповідно до мережевого графіку і єдиного наскрізного плану, та у кінцевому підсумку виявити ризики успішного виконання ДКР на ранніх етапах.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Головін О. О., Стрижак О. Є. Окремі технологічні аспекти впровадження принципів мережецентричності в перспективні знання-орієнтовані інформаційно-аналітичні системи управління розвитком озброєння та військової техніки // Озброєння та військова техніка. Київ: Центральний науково-дослідний ін-т озброєння та військової техніки Збройних Сил України, 2018. Вип. 4(20). С. 19–25.
2. Головін О. О. Побудова мережецентричної системи підтримки процесів оснащення і розвитку ОБТ на основі використання трансдисциплінарних процедур інтеграції інформаційних ресурсів // Системи озброєння і військова техніка, 2018. № 4(56). С. 81–91. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.56.12>.
3. Палагин А. В., Крывый С. Л., Петренко Н. Г. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний. Северодонецк: Восточноукраинский нац. ун-т им. В. Даля, 2012. 323 с.
4. Головін О. О. Застосування логіко-лінгвістичних моделей в системах інформаційно-аналітичного забезпечення процесів технічного оснащення Збройних Сил України // Системи обробки інформації. 2019. № 3(158). С. 7–14. <https://doi.org/10.30748/soi.2019.158.01>.
5. Построение таксономии документов для формирования иерархических слоев в геоинформационной системе / В. Величко и др. // International J. "Information Content and Processing". 2015. № 2. Vol. 2. Pp. 181–198.
6. Globa, L., Kovalskyi, M. and Stryzhak, O. (2015). Increasing web services discovery relevancy in the multi-ontological environment // The series «Advances in Intelligent and Soft Computing» (AISC). Springer. Pp. 335–344.
7. Transdisciplinarity: Joint Problem Solving Among Science, Technology, and Society: An Effective Way for Managing Complexity. Julie Thompson Klein. Birkhäuser. 2001. 332 p.
8. Gruber, T. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge Acquisition. Vol. 5. Pp. 199–220.

9. Guarino, N., Casati, R., Smith, N. and White, G. (1994). *The Ontological Level. Philosophy and the Cognitive Sciences*. Vienna: Holder-Pichler-Tempsky. Pp. 443-456.
10. Corcho, O., Fernández-López, M. and Gómez-Pérez A. *Ontological Engineering: What are Ontologies and How Can We Build Them?* [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/49911328_Ontological_Engineering_What_are_Ontologies_and_How_Can_We_Build_Them.
11. Guarino, N. *Understanding, Building, and Using Ontologies*. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW96/guarino/guarino.html>.
12. Кнут Д. *Искусство программирования. Том 3. Сортировка и поиск*. М.: Вильямс, 2009. 832 с.
13. Стрижак О. Є. *Трансдисциплінарна інтеграція інформаційних ресурсів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук* : 05.13.06. Київ, 2014. 47 с.
14. Шаталкин А. И. *Таксономия. Основания, принципы и правила*. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 600 с.
15. Stryzhak, O., Prychodniuk, V. and Podlipaiev, V. (2019). *Model of Transdisciplinary Representation of GEOspatial Information*. In: Ilchenko, M., Uryvsky, L. and Globa, L. (eds) *Advances in Information and Communication Technologies*. UKRMICO 2019. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 560. Springer, Cham. Pp. 34–75.
16. Гладун В. П. *Процессы формирования новых знаний*. София: СД «Педагог 6», 1994. 192 с.
17. Головін О. О., Стрижак О. Є. *Побудова мережецентричної системи підтримки процесів оснащення і розвитку ОВТ на основі використання трансдисциплінарних процедур інтеграції інформаційних ресурсів // Системи озброєння і військова техніка*. 2018. № 4(56). С. 81–91. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.56.12>.
18. Буч Г. *Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения / пер. с англ.* М.: Конкорд, 1992. 519 с.
19. *Homotopy Type Theory: Univalent Foundations of Mathematics*. Princeton: Inst. for Advanced Study, 2013. 603 p.
20. Malishevski, A.V. (1998). *Qualitative models in the theory of complex systems*. М.: Nauka. Fizmatlit. 528 с.
21. Клини С. К. *Введение в метаматематику*. М.: Иностранная литература, 1957. 526 с.
22. *Программно-целевое планирование развития и научно-техническое сопровождение вооружения и военной техники*. Кн. 1 / ред. Б. Демидова. Харьков. 1997. 545 с.
23. *Системно-концептуальные основы методологии военно-научных исследований и решения прикладных военно-технических проблем / под ред. Б. Демидова*. Тверь. 2014. 688 с.
24. ДСТУ 3974:2000. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення. [Чинний від 2000–07–01]. Вид. офіц. Київ, 2000. 38 с.

REFERENCES

1. Holovin, O. O. and Stryzhak, O. E. (2018), “Okremi tehnologichni aspekti vprovadzhennya printsipliv merezhetsentrichnosti v perspektivni znannya-orientovani informatsiyno-analitichni sistemi upravlinnya rozvitkom ozbroennya ta viyskovoyi tehniki” [Separate technological aspects of the introduction of the principles of network centrality into perspective knowledge-oriented information and analytical systems for the management of the development of armaments and military equipment], *Weapons and military equipment*, No. 4(20), pp. 19–25. doi: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2018.4\(20\).19-25](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2018.4(20).19-25).
2. Holovin, O. O. and Stryzhak, O. E. (2018), “Pobudova merezhetsentrichnoyi sistemi pidtrimki protsesiv osnaschennya i rozvitku OVT na osnovi vikoristannya transdistsiplinarnih protsedur integratsiyi informatsiynih resursiv” [Construction of a network-centric system for supporting the processes of equipment and development of weapons and ammunition on the basis of the use of transdisciplinary procedures for the integration of information resources], *Systems of arms and military equipment*, No. 4(56), pp. 81–91. doi: <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.56.12>.
3. Palagin, A. V., Kryvyy, S. L. and Petrenko, N. G. (2012), “Ontologicheskiye metody i sredstva obrabotki predmetnykh znaniy” [Ontological methods and means of processing subject knowledge], *Vostochnoukrainskiy nats. un-t im. V. Dalya, Severodonetsk*, 323 p.
4. Holovin, O. O. (2019), “Zastosuvannya lohikolinhvistychnykh modelei v systemakh informatsiino-analitychnoho zabezpechennya protsesiv tekhnichnoho osnashchennya Zbroinykh Syl Ukrainy” [Application of logic-linguistic models in systems of information-analytical support of processes of technical equipment of the Armed Forces of Ukraine], *Information Processing Systems*, No. 3(158), pp. 7–14. doi: <https://doi.org/10.30748/soi.2019.158.01>.
5. Velichko, V. and etc. (2015), “Postroenie taksonomii dokumentov dlya formirovaniya ierarhicheskikh sloev v geoinformacionnoj sisteme” [Building a taxonomy of documents for the formation of hierarchical elements in a geographic information system], *International J. “Information Content and Processing”*, Vol. 2. № 2. Pp. 181–198.
6. Globa, L., Kovalskyi, M. and Stryzhak, O. (2015). *Increasing web services discovery relevancy in the multi-ontological environment // The series «Advances in Intelligent and Soft Computing» (AISC)*. Springer. Pp. 335–344.
7. *Transdisciplinarity: Joint Problem Solving Among Science, Technology, and Society: An Effective Way for Managing Complexity*. Julie Thompson Klein. Birkhäuser. 2001. 332 p.

8. Gruber, T. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge Acquisition*. Vol. 5. Pp. 199–220.
9. Guarino, N., Casati, R., Smith, N. and White, G. (1994). *The Ontological Level. Philosophy and the Cognitive Sciences*. Vienna: Holder-Pichler-Tempsky. Pp. 443–456.
10. Corcho, O., Fernández-López, M. and Gómez-Pérez A. *Ontological Engineering: What are Ontologies and How Can We Build Them?* [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/49911328_Ontological_Engineering_What_are_Ontologies_and_How_Can_We_Build_Them.
11. Guarino, N. *Understanding, Building, and Using Ontologies*. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/KAW/KAW96/guarino/guarino.html>.
12. Knut, D. (2009), “*Iskusstvo programmirovaniya: Sortirovka i poisk*” [The Art of Computer Programming: Sorting and search]. Vol. 3, Viliams, M. 832 p.
13. Stryzhak, O. E. (2014), “*Transdistsiplinarna integratsiya informatsiynikh resursiv: author’s abstract*” [Transdisciplinary integration of information resources: author’s abstract], Kyiv, 47 p.
14. Shatalkin, A. I. (2012), “*Taksonomiya. Osnovaniya, printsipy i pravila*” [Taxonomy. Grounds, principles and rules], *Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK*, M. 600 p.
15. Stryzhak, O., Prychodniuk, V. and Podlipaiev, V. (2019). Model of Transdisciplinary Representation of GEOspatial Information. In: Ilchenko, M., Uryvsky, L. and Globa, L. (eds) *Advances in Information and Communication Technologies. UKRMICO 2019. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 560. Springer, Cham. Pp. 34–75.
16. Gladun, V. P. (1994), “*Protsessy formirovaniya novykh znaniy*” [Processes of the formation of new knowledge], SD “Teacher 6”, Sofia, 192 p.
17. Holovin, O. (2018), “*Pobudova merezhetsentrychnoi systemy pidtrymky protsesiv osnashchennia i rozvytku OVT na osnovi vykorystannia transdystyplinarnykh protsedur intehratsii informatsiinykh resursiv*” [Construction of a network-centric system of support for the processes of equipment and development of military-industrial], *Systems weapons and military equipment*, No. 4(56), pp. 81–91. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.56.12>.
18. Buch, G. (1992), “*Obyektno-orientirovannoye proyektirovaniye s primerami primeneniya*” [Object-oriented design with application examples], Concord, M., 519 p.
19. *Homotopy Type Theory: Univalent Foundations of Mathematics*. Princeton: Inst. for Advanced Study, 2013. 603 p.
20. Malishevski, A.V. (1998). *Qualitative models in the theory of complex systems*. M.: Nauka. Fizmatlit. 528 p.
21. Kleene, S. K. (1957), “*Vvedeniye v metamatematiku*” [Introduction to metamathematics], Inostrannaya literatura, M., 526 p.
22. Demidov, B. (1997), “*Programmno-tselevoye planirovaniye razvitiya i nauchno-tekhnicheskoye soprovozhdeniye vooruzheniya i voyennoy tekhniki*” [Program-oriented development planning and scientific and technical support of weapons and military equipment], Vol. 1, Kharkov, 545 p.
23. Demidov, B. (2014), “*Sistemno-kontseptualnyye osnovy metodologii voyenno-nauchnykh issledovaniy i resheniya prikladnykh voyenno-tekhnicheskikh problem*” [System-conceptual foundations of the methodology of military scientific research and the solution of applied military-technical problems], Tver, 688 p.
24. State Standard of Ukraine (2000), “*3974:2000 Systema rozoblennia ta postavlennia produktsii na vyrobnytstvo. Pravyla vykonannya doslidno-konstruktorskykh robit. Zahalni polozhennia*” [3974:2000 The system of development and delivery of products for production. Rules of performance of experimental design works. Term], Kyiv, 38 p.

Відомості про авторів:**Головін Олексій Олександрович**

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Повітряних Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>
e-mail: a_a_golovin@ukr.net

Information about the authors:**Oleksii Holovin**

Candidate of Technical Sciences
Senior Research
Chief of the Directorate for Scientific Research
of Armament and Military Equipment of the Air Force of Central
Research Institute of Armament and Military Equipment of the
Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>
e-mail: a_a_golovin@ukr.net

Стаття надійшла до редколегії 24.10.2019 р.

УДК 629.13 (075.8)

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4\(24\).22-31](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4(24).22-31)

М. Г. ГРУБЕЛЬ, кандидат технічних наук,
доцент, докторант

<https://orcid.org/0000-0002-4820-6935>

(Національна академія сухопутних військ
ім. Гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів)

Л. В. КРАЙНИК, доктор технічних наук,
професор

<https://orcid.org/0000-0002-0524-9126>

(Національний університет "Львівська
політехніка", м. Львів)

О. М. КУПРІНЕНКО, доктор технічних наук,
старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0001-6692-0959>

(Національна академія сухопутних військ
ім. Гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів)

Методологія оцінки опорної прохідності колісної військової автомобільної техніки

Проведено порівняльний аналіз відомих досліджень і підходів до оцінки прохідності повноприводних автомобілів в умовах бездоріжжя. За результатами аналізу визначено, що вітчизняні підходи базуються на традиційних з часів СРСР принципах, що за показниками і критеріями оцінки відрізняються від прийнятих у країнах НАТО. Поряд з тим базові принципи теорії руху автомобіля для зазначених підходів є подібними. Суттєві відмінності підходів полягають у використанні різних показників опорно-зчепних характеристик поверхні руху. Встановлено, що у методиці оцінки прохідності військової автомобільної техніки (ВАТ) із застосуванням модуля деформації ґрунту відсутня пряма або непряма оцінка прохідності з відомими навантаженнями на осі. Крім того, вона передбачає також визначення ще ряду параметрів опорної поверхні – коефіцієнта зчеплення, кута внутрішнього тертя в ґрунті та модуля зсуву при утворенні колії, що робить її значно складнішою у порівнянні із методиками, що використовуються у країнах НАТО.

У країнах НАТО застосовується методика експериментальної оцінки несної здатності відповідних поверхонь, що ґрунтується на використанні конусного індексу СІ (англ. Cone index). Вона враховує вологість ґрунту, характеристики поверхні театру бойових дій та дозволяє за допомогою стандартизованого програмного комп'ютерного забезпечення визначати найбільш

раціональні маршрути і орієнтовні швидкості руху (витрати часу) на відповідні переміщення ВАТ.

На підставі проведеного порівняльного аналізу обґрунтовано засади формування національної нормативної бази з оцінки прохідності ВАТ, які з одного боку враховують досвід застосування ВАТ у сучасних воєнних конфліктах, а з іншого – вимоги до сумісності вітчизняних підходів з підходами, прийнятими в країнах НАТО.

Ключові слова: бездоріжжя, прохідність, опорна поверхня, несна здатність ґрунту.

Проведен сравнительный анализ известных исследований и подходов к оценке проходимости полноприводных автомобилей в условиях бездорожья. По результатам анализа установлено, что отечественные подходы базируются на традиционных со времен СССР принципах, которые по показателям и критериям оценки отличаются от принятых в странах НАТО. Вместе с этим, базовые принципы теории движения автомобиля для указанных подходов похожие. Существенные различия подходов заключаются в использовании разных показателей опорно-сцепных характеристик поверхности движения. Установлено, что в методике оценки проходимости военной автомобильной техники (ВАТ) с использованием модуля деформации грунта отсутствует прямая или непрямо́я оценка проходимости с известными нагрузками на оси. Кроме этого, она предусматривает также определение целого ряда параметров опорной поверхности – коэффициента сцепления, угла внутреннего трения в грунте и модуля сдвига при образовании колеи, что делает эту методику значительно сложнее по сравнению с методиками, которые используются в странах НАТО.

В странах НАТО применяется методика экспериментальной оценки несущей способности соответствующих поверхностей, которая базируется на использовании конусного индекса СИ (англ. Cone index). Она учитывает влажность грунта, характеристики поверхности театра боевых действий и позволяет с помощью стандартизованного программного обеспечения определять более рациональные маршруты движения и ориентировочные скорости движения (использование времени) на соответствующие перемещения ВАТ.

На основании проведенного сравнительного анализа обосновано принципы формирования национальной нормативной базы оценки проходимости ВАТ, которые, с одной стороны, учитывают опыт применения ВАТ в современных военных конфликтах, а с другой – требования к совместимости отечественных подходов с подходами, принятыми в странах НАТО.

Ключевые слова: бездорожье, проходимість, опорная поверхность, несущая способность грунта.

ВСТУП

Розроблення ВАТ нового покоління для потреб Збройних Сил (ЗС) України є пріоритетним завданням, яке з одного боку продиктоване переходом країнами блоку НАТО, Китаю та Росії на новітні зразки ВАТ, які відповідають вимогам, що базуються на досвіді їх застосування у сучасних воєнних конфліктах. З іншого боку з початком ведення АТО (ООС) на сході нашої держави, стала очевидною нагальна необхідність бойових підрозділів України у зразках ВАТ, які адаптовані до застосування у гібридних війнах. Набутий українськими військовими власний досвід дозволяє зробити висновок про невідповідність тактико-технічних характеристик зразків ВАТ радянського виробництва характеру задач, які фактично вирішуються, низьку спроможність виконання задач в складних дорожньо-кліматичних умовах. За таких умов необхідно у стислі терміни розробити та впровадити у виробництво нові типи колісної ВАТ, що з однієї сторони відповідають вимогам, що висуваються з досвіду ведення у сучасних умовах військових конфліктів, війн та АТО (ООС), а з іншого боку, це відповідає новій редакції Воєнної доктрини України.

Однією із важливих експлуатаційних характеристик ВАТ є її прохідність. Відомо, що зміна конструктивних параметрів зразка ВАТ для підвищення прохідності може привести до зниження його експлуатаційних характеристик на автомобільних дорогах. Важливою та актуальною складовою розроблення ВАТ нового покоління є вибір оптимальних конструктивних параметрів, які дозволять її використовувати з максимальною ефективністю дорогами загального користування і на місцевості.

За таких умов потребує удосконалення методологія оцінки прохідності ВАТ, як на етапі проектування, так і практичної експлуатації зразка ВАТ. На даний час на достатньому рівні досліджені питання руху ВАТ твердими опорними поверхнями та дорогами з високою несною здатністю. Поряд з тим, більшість реальних опорних поверхонь є нерівними і різними за фізико-механічними властивостями ґрунтів, як за протяжністю, так і за порами року. Процеси взаємодії колісної ВАТ з деформованими опорними поверхнями є значно складнішими і недостатньо дослідженими. Тому удосконалення методології оцінки прохідності ВАТ є актуальною проблемою, вирішення якої дозволить підвищити ефективність її використання для потреб ЗС України за умов неоднорідності ґрунтів та нерівних деформованих опорних поверхонь.

Крім того, в Україні склалась парадоксальна ситуація, коли в умовах збройного конфлікту і задекларованій на законодавчому рівні стратегічній меті вступу у НАТО чинними залишаються певні нормативні вимоги до ВАТ, що розроблені у 70-80 рр. минулого століття. Ці вимоги з врахуванням досвіду воєнних конфліктів та досягнень в розвитку ВАТ вже змінені у Росії, а також втратили свою актуальність в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Параметри і підходи щодо оцінки геометричної прохідності ВАТ достатньо однозначні і нормовані

як в Росії, постсоціалістичних країнах, так і в країнах НАТО [1-5]. Поряд з тим і у цій сфері проведені дослідження щодо вдосконалення існуючих підходів [3], що пов'язані з удосконаленням методів розрахунку геометричної прохідності двовісних зразків колісної ВАТ, які дозволяють вже на стадії їх проектування забезпечити максимально можливу потенційну прохідність за рахунок оптимального розподілу мас по осях.

Щодо оцінки опорної прохідності ВАТ слід констатувати суттєві відмінності у методології та оцінці характеристик у дослідженнях та нормативній базі практично двох різних наукових шкіл. Це стосується наукової школи, яку використовують Росія та більшість країн, які входили до складу колишнього СРСР [1, 2, 4, 5] (далі "Східна") та наукова школа, яку використовують країни НАТО [6 – 9] (далі "Західна"). Актуальність теми для України у сучасних умовах при практичній відсутності власної осучасненої нормативної бази зумовила появу відповідних досліджень у цій сфері, що однак базуються на традиційних з часів СРСР підходах і принципах оцінки опорної прохідності ВАТ та за показниками і критеріями оцінки відрізняються від підходів, прийнятих у країнах НАТО. Крім того, аналіз розвитку ВАТ у сусідніх постсоціалістичних країнах свідчить власне про перехід до методології оцінки прохідності за методологією, прийнятою у країнах НАТО. Очевидно, що в Україні, що не є членом НАТО та Євразійського оборонного союзу з Росією, необхідне опрацювання власної нормативної бази оцінки прохідності ВАТ, що відповідатиме нормативній базі НАТО з врахуванням наявних напрацювань і бази даних щодо фізико-механічних властивостей опорних поверхонь ВАТ території України, отриманих у системі нормативної бази колишнього СРСР.

Метою дослідження є необхідність опрацювання власної методології оцінки прохідності ВАТ, що відповідатиме нормативній базі НАТО з врахуванням досягнень "Східної" та "Західної" наукових шкіл.

Результати досліджень

Оцінка опорної прохідності ВАТ базується на двох базових етапах:

кількісна оцінка опору деформації несної здатності ґрунту, як опорної поверхні (ОП) під дією навантаження колеса з врахуванням ступеня насичення вологою конкретного типу ґрунту;

оцінка прохідності цієї ОП конкретного типу ВАТ за умови співвідношення насамперед коефіцієнтів опору рухові за рахунок деформації ґрунту під дією навантажень на колеса – ваги автомобіля і динамічного перерозподілу її при русі нерівностями та тягового і гальмівного зусилля. При цьому можливе утворення так званого бульдозерного ефекту на деяких видах опорних поверхонь та зчеплення шини з опорною поверхнею, що на відміну від доріг з удосконаленим покриттям значно зближені.

Спільним для існуючих підходів оцінки прохідності ВАТ "Східної" та "Західної" наукових шкіл з теорії руху автомобіля є умова руху перевищення тяговим зусиллям на колесах F_x сили сумарного опору рухові F_f при умові,

що тягове зусилля F_k є меншим сили зчеплення шин з дорогою F_φ , бо у протилежному випадку рух є просто неможливим. Звідси випливає різниця між коефіцієнтами зчеплення φ та опору рухові f , як умова можливості руху [6, 7]. Це відбувається за рахунок перевищення значення коефіцієнта зчеплення шин з дорогою φ значення коефіцієнта опору рухові колеса f , відповідного для даної поверхні. Відповідно у “Західній” методології оцінки прохідності фігурує різниця між так званим коефіцієнтом руху μ , різниця відповідних значень сил зчеплення та опору рухові, опорної поверхні, віднесеної до ваги автомобіля G_a :

$$\mu = \frac{F_\varphi - F_f}{G_a} = \frac{G_a(\varphi - f)}{G_a} = \varphi - f. \quad (1)$$

Аналогічна за фізичною суттю і оцінка можливості умови руху у методології “Східної” наукової школи, що введена як показник і у законодавчу нормативну базу [1, 2] – так звана зона питомої сили тяги на буксирному гаку K_r , тобто різниці $F_\varphi - F_f$ віднесеної до ваги автомобіля при нехтуванні аеродинамічною складовою руху, що незначна при невисоких швидкостях руху. Однак, за даними відповідних дорожніх випробувань [10] можна стверджувати, що необхідні згідно нормативних вимог [12] порогові значення $K_r \geq 0,250$ забезпечуються при мінімально допустимих тисках повітря у шинах і відповідають швидкостям руху, суттєво нижчих від реалій руху ВАТ. Також при русі з максимально можливою швидкістю, що власне і є метою переміщення ВАТ під час бойових дій, величина тягового зусилля на гаку прямує до нульового значення, що формально за нормативною оцінкою [12] дає негативну оцінку прохідності за критерієм K_r . Експериментальні дорожні випробування ВАТ щодо оцінки прохідності згідно показника K_r теж мають певне допущення щодо фіксації величини тягового зусилля на гаку динамометром у тросі/ штанзі з’єднання з буксирним автомобілем (прицепом), що однак рухається вже прокладеною колією переднього автомобіля (власне об’єкта оцінки) і відповідає з уже різними значеннями і співвідношеннями коефіцієнтів зчеплення φ і опору рухові f .

Суттєві відмінності підходів в оцінці прохідності “Східної” та “Західної” наукових шкіл починаються з різних показників опорно-зчіпних характеристик поверхні руху.

Домінуюча, ще з часів Другої світової війни, впроваджена інженерним корпусом армії США (англ. – US Army Corps of Engineer), методика – WES (англ. Waterways Experiment Station) оцінки несної здатності ОП руху (грунту, піску і т.і.), що базується на стандартизованому виміру опору деформації зазначеної ОП конусоподібним пенетрометром. Кут конуса 30° з площею основи $0,5 \text{ in}^2$ – дюйма квадратного – $3,23 \text{ cm}^2$, що переміщається на глибину до 15 – 20 см із швидкістю переміщення 3 см/с. Зазначена методика знайшла своє відображення ще у 70-х рр. минулого століття у стандарті ISVTV [13] та у стандарті ISO [14] – названого конусним індексом CI (англ. Cone Index).

Орієнтовні діапазони значень CI для різних типів опорної поверхні приведено у табл. 1, з переведенням у МПа.

Методологія оцінки прохідності “Східної” наукової школи базується на кількісній оцінці опору вдавлення в опорну поверхню штампу, площею від 600 до 5000 cm^2 , залежно від типу ОП з подальшим розрахунком базового показника – модуля деформації ґрунту E , Н/см² за формулою Шлейхера з врахуванням осадки штампа і навантаження на нього, а також двох емпіричних коефіцієнтів, бічного розширення ґрунту (опорної поверхні) та коефіцієнта, що враховує матеріал і форму штампа [16]. Окрім цього, для оцінки прохідності і комп’ютерного моделювання – розрахунку руху ВАТ в умовах бездоріжжя необхідне також визначення ще ряду параметрів опорної поверхні звично коефіцієнта зчеплення, кута внутрішнього тертя в ґрунті φ_0 та модуля зсуву C_0 при утворенні колії.

Таблиця 1

Значення конусного індексу CI для різних типів опорних поверхонь

№ з/п	Тип опорної поверхні	CI, МПа
1.	Сніг (свіжий – фірн)	0,01 – 0,04
2.	Заболочені ґрунти, торфовища неущільнені	0,18 – 0,44
3.	Сапропелєві, намулові (ілісті) неущільнені	0,09 – 0,18
4.	Рілля	0,13 – 0,20
5.	Ґрунт, суглинок, текучий пластичний	0,4 – 0,9
6.	Ґрунт, суглинок текучий	0,3 – 0,4
7.	Пісок неущільнений (у колії 0,1 – 0,2 м)	0,013 – 0,03
8.	Пісок ущільнений (у колії 0,1 – 0,2 м)	0,74 – 1,2

Очевидно, що у практичній роботі з планування руху ВАТ в умовах бездоріжжя у арміях НАТО опрацьована методика експериментальної оцінки несної здатності відповідних поверхонь – визначення CI, що дозволяє врахувати одразу основні визначальні чинники прохідності. У першу чергу за даними аерокосмічної розвідки враховується вологість ґрунту (піску), як основної характеристики ОП театру бойових дій. В подальшому на базі стандартизованого програмного комп’ютерного забезпечення визначаються параметри прохідності машин відповідних типів з відомим навантаженням на вісь, параметрами шин. Це дозволяє в режимі реального часу опрацьовувати найбільш раціональні маршрути і орієнтовні швидкості руху, витрати часу на відповідні переміщення ВАТ. Така методика щодо визначення прохідності вже впроваджена і у практику постсоціалістичних країн-членів НАТО [18].

Слід зазначити, що кількісна, кореляційна оцінка взаємозв’язку значень CI та E давно опрацьована на заході [18], а віднедавна і у Росії [19].

Узагальнюючи ці дослідження, можна констатувати наступні нелінійні залежності для зв’язних ґрунтів:

супісок $E=12,151+5,420 \text{ in CI}$ (2)

суглинок $E=8,914+5,019 \text{ in CI}$ (3)

глина $E=7,583+7,521 \text{ in CI}$ (4)

для заболоченого ґрунту $E=1,1315 \text{ CI}$ (5)

Для незв'язних, піщаних та снігових поверхонь питання залишилось відкритим.

Сьогодні оцінка фізико-механічних властивостей опорної поверхні, очевидно, ще не є достатньою для оцінки прохідності перспективної ВАТ. Це стосується випадків як з навантаженнями конкретного автомобіля на опорну поверхню і відповідними деформаціями опорної поверхні та шини, утворення колії відповідної глибини, так і з тяговими характеристиками ВАТ включно до висоти і рисунку протектора шин. Значення параметрів фізико-механічних властивостей опорної поверхні CI чи E з умови прохідності – за рахунок додаткової дії у зоні контакту шини з поверхнею, окрім вертикального навантаження на колеса за рахунок нерівностей опорної поверхні по колії руху теж підпадають відповідному коригуванню.

Відповідно зменшення несної здатності ОП під впливом дії додаткових навантажень у горизонтальній площині контакту тягового чи гальмівного зусилля оцінюється:

стосовно CI – так званім RI (англ. – Remond Index) – біля 70 – 80%. Відповідно формувалось критичне з умови прохідності ВАТ (WES [9 і ін.]) значення конусного індексу VCI (англ. – Vehicle Cone Index), як порогового значення для співставлення $CI > VCI$ і відповідно принципової оцінки прохідності;

стосовно E – відсутня пряма або непряма оцінка прохідності ВАТ, у тому числі з відомими навантаженнями на осі, при відповідних значеннях E для конкретної поверхні, окрім природньо очевидних і без відчутно складнішого у порівнянні із CI , експериментального визначення – заміру – розрахунку E .

У практиці збройних сил зрештою і не тільки відсутня методика (нормативна база) щодо оцінки у принципі прохідності чи непрохідності конкретної місцевості у реальному часі і стані (насамперед щодо ступеня вологості) на базі отриманих значень модуля деформації E , зрештою, як необхідна портативна вимірювальна апаратура оперативного визначення E на місці та поточні карти супутникового контролю характеристик опорних поверхонь конкретного району дій.

Очевидно, що для різних типів і конкретних моделей ВАТ оцінка прохідності не обмежується тільки фізико-механічними характеристиками ОП, місцевості, але уже кількісно у плані потенційно можливих для реалізації швидкостей руху. Визначається вона насамперед конструктивними параметрами конкретного типу машин.

Узагальнено беручи до уваги стандартизовані вимоги у НАТО, щодо тактико-технічних характеристик ВАТ, насамперед, щодо допустимих порогових значень навантажень на осі для відповідних класів/категорій ВАТ, оцінка мобільності переміщення ВАТ додатково квантифікується на 3 – 4 рівнях з відповідною градацією максимально можливих швидкостей руху, базуючись на додаткових показниках.

За методикою WES, що розроблена інженерним корпусом армії США – VCI і т. зв. індекс мобільності MN (англ. – Index/number) [9, 17]:

$$MN_{WES} = \frac{CI \times \epsilon \times d}{G_a} \times \left(\frac{\delta}{h}\right)^{0,5} \times \left(\frac{1}{1 + \frac{\epsilon}{2d}}\right), \quad (7)$$

$$VCI_1 = 11,48 + 0,2MN + \left(\frac{39,2}{MN + 3,74}\right), \quad (8)$$

$$VCI_{50} = 28,23 + 0,43MN - \left(\frac{92,67}{MN + 3,62}\right), \quad (9)$$

де CI – значення конусного індексу для даної поверхні кПа (табл. 1); G_a – вага автомобіля кН, δ – деформація шини під повним номінальним навантаженням на твердій опорній поверхні (м), d – діаметр колеса із шиною, без навантаження (м), h – ширина шини у зоні протектора (м).

Вирази (8) і (9) – відповідно для першої осі першого проїзду по колії та для 50-го проїзду однотипних ВАТ по колії з врахуванням ефекту ущільнення / пластичної деформації ґрунту.

За методикою MMP (англ. – Mean maximum pressure), що розроблена центром науково-дослідних робіт у сфері озброєння Великобританії RARDE (англ. – Royal Armament Research and Development Establishment UK) [9, 17, 20] за так званім ефективним тиском на опорну поверхню, MMP визначається за формулою:

$$MMP = \frac{k \times G_a}{2 \times n \times \epsilon^{0,85} \times d^{1,15} \times \left(\frac{\delta}{h}\right)^{0,5}}, \quad (9)$$

де k – коефіцієнт осей (табл. 2); n – кількість осей, v – швидкість руху у зоні профіля протектора; $\frac{\delta}{h}$ – питома деформація шини на недеформованій твердій поверхні ($\frac{\delta}{h} = 0,18$ при номінальному тиску у шині для номінальної маси і швидкості масових автомобілів для шосе, $\frac{\delta}{h} = 0,25$ при тиску 70% від номінального для повнопривідних позашляховиків повною масою, 0,35 – аналогічно при зменшенні тиску у шинах до 30% від номінального).

Таблиця 2

Значення коефіцієнту осей k для розрахунку MMP

Кількість осей	Кількість ведучих осей					
	1	2	3	4	5	6
2	4,4	3,65				
3	5,25	4,35	3,9			
4	6,05	4,95	4,44	4,1		
5			4,97		4,32	
6		6,2	5,55	5,15		4,6

Відповідно і індекс мобільності MN_R (англ. – Rowlands Mobility Number) [20] за даною методикою визначається як:

$$MN_R = \frac{k \times n \times CI \times \epsilon^{0,85} \times d^{1,15}}{G_a} \sqrt{\frac{\delta}{h}}. \quad (11)$$

Ефект ущільнення опорної поверхні колії при багаторазовому проїзді (руху колони) оцінюється шляхом відповідного коригування (збільшення) конусного індексу [21]

$$CI_n = k_n \times MMP, \quad (12)$$

де k_n – коефіцієнт кількості проїздів осей, що визначається за табл. 3.

Таблиця 3

Значення коефіцієнта кратності проїздів k_n

Кількість проїздів осей	1	2	5	10	25	50
Коефіцієнт кількості проїздів осей, k_n	1	1,20	1,53	1,85	2,35	2,80

За методикою VLCI (англ. – Vehicle Limiting Cone Index), що розроблена у розвиток британської агенцією озброєння і досліджень DERA (англ. – British Defense Evaluation and Research Agence) [17, 22], що є подальшим вдосконаленням, поєднанням VCI та MMP і прийнята до застосування армією Великобританії індекс мобільності VAT запропоновано розраховувати за значеннями, наведеними в табл. 4.

Таблиця 4

Оцінка прохідності VAT за визначенням MMP [17, 23]

Клімат і категорія ґрунту/опорної поверхні	Мобільність (здатність руху – порогові MMP, кПа)		
	Дуже добра (ідеальна)	Добра	Достатня
Мокрий дрібнозернистий ґрунт у:			
помірному кліматі	150(125)	200(165)	300(250)
тропічному кліматі	90(75)	140(115)	240(200)
Болото/торфовище	5	10	15
Торфогрунт	30	50	60
Сніг (цілина)	10	25	40

Примітка.

В дужках наведено значення для гусеничних і колісних машин з кермовим управлінням бортовими фрикціонами.

$$MN_{DERA} = \frac{CI \times \epsilon^{0,8} \times d^{0,8} \times \delta^{0,6}}{G_a} \quad (13)$$

та оцінка:

$$VLCI = \frac{1,85 \times G_a}{2 \times n \times \epsilon^{0,8} \times d^{1,3} \times \delta^{0,9}} \quad (14)$$

що забезпечило похибку у межах 5% з результатами дорожніх випробувань для VAT з колісною формулою 4x4 та 8x8 [23].

Загалом слід констатувати, що вищезазначені три базові методики, дві з яких є офіційною нормативною базою найбільших армій НАТО, базуються на єдиному підході щодо оперативної оцінки мобільності VAT на конкретній місцевості і незначно відрізняються точністю оцінки. Найвищий рівень кореляції з експериментальними даними стосовно коефіцієнту μ (1) забезпечує власне метод DERA [17, 24]. Значення коефіцієнту зчеплення ϕ для типових умов бездоріжжя по WES-методиці армії США згідно табульованих експериментально визначених значеннях представлені в табл. 1.

Основною відмінністю вищевикладених методик оцінки є відповідна квантифікація – кількісна оцінка прохідності машин відповідною місцевістю (з визначеними MN/CI), переміщення колон чи одиничної VAT.

На рис.1 представлено (за результатами дослідження [24]) оцінку мобільності VAT в залежності від значення VCI для різних типів опорних поверхонь – від мулу, глини, суглинку, піску (супіску) до гравійного покриття з відповідними значеннями MMP та зміною VCI при проходженні 1-ї та 50-ї осей VAT.

У табл. 5 представлено для порівняльного аналізу кількісні значення показників прохідності за методикою MMP для зразків VAT, включаючи для прикладу і танки T-72, Leopard 2 та Abrams M1A1, отримані за результатами досліджень [24].

Таблиця 5

Порівняльна кількісна оцінка прохідності сучасних зразків VAT згідно узагальнених даних

Модель машини	Вага, т	Колісна формула	MMP	Розміри шин
M998 (Hummer)	3,87	4x4	228	36x12,5 – 16,5
Land Rover	2,1	4x4	267	6,50x16
Panhard M11VBL	3,54	4x4	252	9,0x16
Luchs	19,5	8x8	371	14x20
УрАЛ-375Д	13,0	6x6	350	14x20
БТР-60П	10,0	8x8	320	12x20
VAB VTT	14,2	6x6	342	14x20
AMX 10RC	15,8	6x6	380	14x20
DROPS 1MMLC	32,5	8x6	443	20,5x25
Saxon AT105	11,66	4x4	430	14,75x80R20
Land System WV3 (дослідний зразок)	26,00	8x8	266	14x20
Land System WV1 (дослідний зразок)	24,00	8x8	246	14x20
T-72	41,0	-	257	-
T-62	38,0	-	256	-
Abrams M1A1	55,9	-	236	-
Leopard 2	55,2	-	222	-
БМП-2	14,6	-	178	-
AMX10P	14,5	-	173	-
M113	15,8	-	169	-

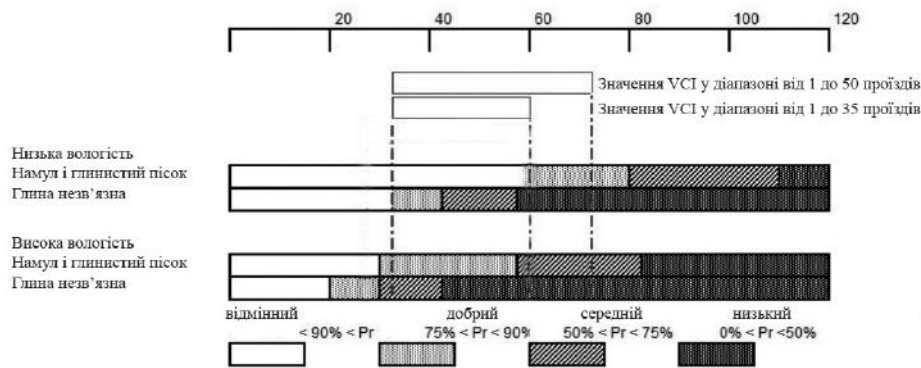


Рис. 1. Оцінка прохідності за VCI та MMP для різних типів опорної поверхні [40]

Таблиця 6

Рекомендаційні порогові значення MMP для ВАТ

Типи ОБТ	Максимальні значення MMP, кПа				
	Пріоритети тиску (MMP)				
	оптимальний	бажаний	пороговий		
<i>Броньовані ОБТ</i>					
Танки; ВАТ більше 30 т; самохідна артилерія.	230	240	280		
<i>Легкоброньовані ОБТ</i>					
Гусеничні	110	140	230		
Колісні	132	168	276		
Класи ВАТ	Максимальні значення MMP для класів, кПа				
	HMLC	IMMLC	MMLC	ILMLC	LMLC
Легкі Вантажопідйомність менше 4т	275	350	500	625	-
Середні Вантажопідйомність 4 – 8т	350	450	550	650	over
Важкі Вантажопідйомність більше 8т	132	450	550	650	-

Примітка.

HMLC (англ. – High Mobility Load Carrier) – вантажні платформи високої мобільності; MMLC (англ. – Medium Mobility Load Carrier) – вантажні платформи середньої мобільності; IMMLC (англ. – Improved Medium Mobility Load Carrier) – вдосконалені вантажні платформи середньої мобільності; LMLC (англ. – Low Mobility Load Carrier) – вантажні платформи низької мобільності; ILMLC (англ. – Improved Low Mobility Load Carrier) – вдосконалені вантажні платформи низької мобільності.

Практично впродовж останніх 20 років були сформувані і відповідні рекомендаційні нормативні вимоги у США [25] і Великобританії [26] щодо рекомендованих максимальних порогових значень MMP для різних типів ВАТ з умов забезпечення необхідної мобільності у сучасних умовах (табл. 6) та опрацьовані відповідні методики оцінки мобільності – потенційної динаміки руху, включно прохідності ВАТ [27]. Однак необхідно зазначити, що до 2021 року заплановано опрацювання нової редакції рекомендаційного стандарту НАТО щодо необхідної мобільності та прохідності ВАТ [28].

У сучасній російській нормативній системі щодо розробки і експлуатації ВАТ відсутня подібна за структурою і градацією оцінки прохідності практично орієнтована науково-методична база. Практично законодавча нормативна оцінка прохідності ВАТ [2], як і загальні

технічні вимоги до колісної ВАТ зводиться до оцінки максимальної питомої сили тяги на буксирному гаку. Поряд з тим зазначена методологія не дозволяє визначити максимально можливу швидкість руху по місцевості, що необхідна у реальних умовах бойових дій, питому роботу опору коченню при русі без тяги на буксирі. Також проблемним питанням є визначення найбільшої швидкості руху на чотирьох типах ОП (причому випробування на максимальну швидкість руху не входить у перелік обов'язкових):

розмокли на глибину не менше 0,1 м суглинки;
зорані на глибину 0,25 – 0,30 м суглинки або чорноземі з відносною вологістю поверхневого шару від 30 до 35%;

сипучі піски глибиною не менше 1,5 м і вологістю не більше 4%;

сніжна цілина глибиною не менше 0,4 м при щільності снігу 0,2 – 0,4 г/см³ і температурі повітря менше –5°C.

Крім того, відсутня нормативна методика оцінки розрахунку прохідності ВАТ і можливих швидкостей її руху, відповідно до класів на базі оперативної оцінки (визначення) фізико-механічного параметру ОП у режимі реального часу. Забезпечення військ відповідною апаратурою для визначення фізико-механічних характеристик ОП місцевості та комп'ютерного програмного забезпечення оцінки прохідності, формування маршрутів та швидкостей руху не здійснювалось.

Багаточисельні (понад два десятки) пропозиції науковців “Східної” наукової школи щодо різноманітних додаткових чи інтегруючих показників прохідності ВАТ достатньо детально пропрацьовані у відомих дослідженнях і можуть бути актуальними тільки на етапі дослідно-конструкторських робіт зі створення і доводки нових зразків ВАТ, однак малозначимі для практичного використання у військах, де пріоритетним є оцінка прохідності загалом та визначення можливих маршрутів траєкторій руху з максимально можливими швидкостями.

Оцінка профільної прохідності (дорожній просвіт, кути звисів і т. і.) як у “Східній” так і “Західній” наукових школах у принципі є практично ідентичною і однозначною. Змінюються (зростають) тільки вимоги щодо необхідного кількісного покращення параметрів, як наприклад, збільшення дорожнього просвіту з 250–270 мм у машин попереднього покоління до 370–420 мм у сучасних ВАТ у НАТО, що зрештою так повинно знайти своє відображення у вітчизняній нормативній базі.

ВИСНОВКИ

За умов сучасних гібридних воєнних конфліктів та АТО (ООС) на сході України при морально і технічно застарілому і практично технічно зношеному парку ВАТ ЗС України очевидна життєва необхідність оновлення законодавчої нормативної бази щодо оцінки прохідності ВАТ та відповідне формування її параметрів для перспективного типу. Це забезпечить поетапне цільове оновлення парку ВАТ, що на 75–80% складається з машин ще часів СРСР, які виготовлені на заводах, розміщених на території Росії. Крім того, за останнє десятиріччя відповідне оновлення нормативної бази щодо оцінки прохідності ВАТ здійснено як у Росії [2, 11, 15], так і у країнах НАТО [25, 26] на основі розвитку террамеханіки та конструкцій ВАТ [28]. Використання нормативної бази радянських часів є некоректним, тим більше в умовах формування перспективного вітчизняного типу ВАТ відповідно до стандартів НАТО. При цьому слід також врахувати особливості умов руху ВАТ розкислими весняно-осінніми чорноземами та суттєву засніженість ОП в Україні, що не є характерним для Західної Європи і практично не відображено у відповідній нормативній базі НАТО.

Запропонована методологія оцінки прохідності ВАТ, що ґрунтується на досягненнях “Східної” та “Західної” наукових шкіл, враховує напрацювання і базу даних щодо фізико-механічних властивостей опорних

поверхонь території України, отриманих у системі нормативної бази колишнього СРСР.

Для різних типів ВАТ оцінка прохідності не обмежується тільки фізико-механічними характеристиками опорної поверхні. Вона повинна також бути реалізована кількісно у плані потенційно можливих для реалізації швидкостей руху.

Зокрема встановлено, що у методиці визначення прохідності ВАТ із застосуванням модуля деформації ґрунту відсутня пряма або непряма оцінка прохідності з відомими навантаженнями на осі. Крім того, вона передбачає також визначення ще ряду параметрів опорної поверхні – коефіцієнта зчеплення, кута внутрішнього тертя в ґрунті φ_0 та модуля зсуву C_0 при утворенні колії, що робить її значно складнішою у порівнянні із методикою, що базується на використанні СІ.

Запропонована методологія може бути використана під час планування бойових дій підрозділів для оцінки прохідності чи непрохідності ВАТ на конкретній місцевості у реальному часі, враховуючи ступінь вологості ґрунту на базі отриманих значень модуля деформації E та відомої кореляційної оцінки взаємозв'язку значень СІ та E .

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. ГОСТ 22653-77. Автомобили. Параметры проходимости. Термины и определения. М.: Госстандарт, 1977. 4 с.
2. ГОСТ РВ 52048-2003. Автомобили многоцелевого назначения. Параметры проходимости и методы их определения. М.: Изд-во стандартов, 2003. 11 с.
3. Васильев В. Г. Совершенствование методов расчета профильной проходимости двухосных колесных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград: ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический ун-т», 2014. 20 с.
4. Агейкин Я. С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. 230 с.
5. Котляренко В. И. Оценка проходимости колесных машин по деформируемым поверхностям // Журнал автомобильных инженеров. М., 2008. №1(48). С. 30–35.
6. Беккер М. Г. Введение в теорию систем местность – машина / пер. с англ.; под. ред. В. В. Гуськова. М.: Машиностроение, 1973. 520 с.
7. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств. М.: Машиностроение, 1982. 284 с.
8. Rowland, D. (1975). A review of vehicle for soft ground operation. Proc. of the 5th International Conf. of the Society of Terrain. Vehicle Systems, No 1, pp. 179–219.
9. Wong, Y. J. Terramechanics and off road vehicle engineering; second ed. – London. Butterworth – Hannemann, 2010. 482 p.
10. Острецов А. В., Есаков А. Е., Шарипов В. М. Сравнительная оценка опорной проходимости автомобилей КамАЗ-4350, КамАЗ-43114 и Урал-4320-31 на сыпучем песке. М.: Известия МГТУ МАМИ. №1(19). 2014. С. 50–51.

11. ГОСТ РВ 52395-2005. Шины пневматические с регулируемым давлением для военной техники. М.: Изд-во стандартов, 2005.
12. Абрамов В. Н., Чистов М. П., Веселов И. В., Колтуков А. А. Оценка и выбор пневматических шин регулируемого давления для армейских автомобилей; под ред. В. В. Шипилова. ФГУП 21 НИИИ МО РФ, 2006. 223 с.
13. International society for terrain-vehicle systems standards. J. of Terramechanics. Vol. 14. Iss. 3, September 1977. Pp. 153–182, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022489877900131>.
14. ISO 22476-1:2012. Technical Corrigendum 1 Geotechnical investigation and testing –Field testing – Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test.
15. ГОСТ Р 20276–2012. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформированности. М.: Госстандарт РФ-ФАТРМ, 2013. 44 с.
16. Агейкин Я.С., Вольская Н.С. Определение параметров системы шина–грунт при проведении расчетов на проходимость колесной машины // Машиностроение и инженерное образование. М., 2010. № 4(25). С. 18–21.
17. Rui Hea, Corina Sandua, Aamir K. Khana, A. Glenn Guthrieb, P. Schalk Elsb and Herman A. Hamersma. Review of terramechanics models and their applicability to real-time applications, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022489817302665>.
18. Rohani, B. and Baladi, G. Y. Correlation of mobility cone index with fundamental engineering properties of soil. US Army corps of engineers, US Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, Mississippi: US Army, 1981. Miscellaneous Paper SL-81-4, available at: <https://www.citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1029.7249&rep=rep1&type=pdf>.
19. Хитров Е. Г., Хахина А. М., Лухминский В. А., Казаков Д. П. Исследование связи конусного индекса и модуля деформации различных типов грунтов // *Resources and technology*, 2017. № 14(4). С. 1–16 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-svyazi-konusnogo-indekasa-i-modulya-deformatsii-razlichnyh-tipov-gruntov>.
20. Rowland, D. and Peel, J. W. (1975). Soft ground performance prediction and assessment for wheeled and tracked vehicles. Inst. of mechanical engineering, No 205, pp. 81–92.
21. Ingobert C. Schmid. Interaction of vehicle and terrain results from 10 years research at IKK. J. of Terramechanics. Vol. 32, Iss. 1, January, 1995. Pp. 3–26, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002248989500005L>.
22. Sally Shoop. Thawing soil strength measurements for predicting vehicle performance. J. of Terramechanics. Vol. 30. Iss. 6. November, 1993. Pp. 405–418, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002248989390034U>.
23. Maclaurin, E. B. The use of mobility numbers to describe the in-field tractive performance of pneumatic tires. Proc. of the 10th International ISTVS Conf., Kobe, Japan, August 20–24, 1990.
24. Wong Yuan Chien David, Lim Hong How Sebastian and Chan Wei Qiang Wilson. An assessment of land vehicles trafficability. DSTA Horizons, 2016, pp. 54–63, available at: <https://www.dsta.gov.sg/docs/default-source/dsta-about/an-assessment-of-land-vehicles-trafficability.pdf?sfvrsn=2/>.
25. Standard for Ground Vehicle Mobility, available at: https://www.researchgate.net/publication/235207305_Standard_for_Ground_Vehicle_Mobility.
26. Guide to the Common Technical Requirements for Military Logistic Vehicles and Towed Equipment / DEF STAN 23-6, available at: <https://www.standards.globalspec.com/std/244958/def-stan-23-6>.
27. Defense Transportation: Algorithms, Models and Applications for the 21st Century, available at: <https://www.elsevier.com/books/defense-transportation-algorithms-models-and-applications-for-the-21st-century/brigantic/978-0-08-044405-5>.
28. Standardization Recommendation (STANREC) Development for Next-Generation NATO Reference Mobility Model (NRMM), available at: www.sto.nato.int/Lists/test1/activitydetails.aspx?ID=16568.

REFERENCES

1. State Standard (1997), “22653-77 *Avtomobili. Parametryi prohodimosti. Terminy i opredeleniya*” [22653-77 *Vehicles. Parameters of patency. Terms and definitions*], Gosstandart, M. 6 p.
2. State military standard of the Russian Federation (2003), “*Avtomobili mnogotselovogo naznacheniya. Parametryi prohodimosti i metodyi ih opredeleniya*” [Multipurpose cars. Traffic parameters and methods for their determination], Standards Publ., M. 11 p.
3. Vasiliev, V.G. (2014). “*Sovershenstvovanie metodov rascheta profilnoy prohodimosti dvuhosnykh kolesnykh mashin: abstract dissertation*” [Improving the methods for calculating the profile patency of biaxial wheeled vehicles: abstract dissertation], Volgograd, 20 p.
4. Ageikin, Ya.S. (1981). “*Prokhdimost' avtomobiley*” [Passable vehicles], Engineering, M. 230 p.
5. Kotlyarenko, V.I. (2008). “*Otsenka prokhdimosti kolesnykh mashin po deformiruemym poverhnostyam*” [Estimation of patency of wheeled vehicles on deformable surfaces], *J. of Automotive Engineers*. No 1(48). M. Pp. 30–35.
6. Bekker, M.G. (1973). “*Vvedenie v teoriyu sistem mestnost-mashina*” [Introduction to the theory of terrain-machine systems], Mashinostroenie, M. 520 p.
7. Wong, J. (1982). “*Teoriya nazemnykh transportnykh sredstv*” [Theory of Land Vehicles], Mashinostroenie, M. 284 p.
8. Rowland, D. (1975). A review of vehicle for soft ground operation. Proc. of the 5th International Conf.

- of the Society of Terrain. Vehicle Systems, No 1, pp. 179–219.
9. Wong, Y. J. Terramechanics and off road vehicle engineering; second ed. – London. Butterworth – Hannemann, 2010. 482 p.
 10. Ostretsov, A., Esakov, A. and Sharipov, V. (2014). “*Sravnitel'naya otsenka opornoj prohodimosti avtomobiley KamAZ-4350, KamAZ-43114 i Ural-4320-31 na syipuchem peske*” [Comparative assessment of the support patency of KamAZ-4350, KamAZ-43114 and Ural-4320-31 automobiles on loose sand], *Izvestiya MGTU MAMI*, M. No. 1 (19). Pp. 50-51.
 11. State military standard of the Russian Federation (2005). “52395-2005 *Shinyi pnevmaticheskie s reguliruemyim davleniem dlya voennoy tehniky*” [52395-2005 Pneumatic tires with adjustable pressure for military equipment], Standards Publishing, M.
 12. Shipilova, V., Abramov, V., Chistov, M., Veselov I., and Koltukov, A. (2006). “*Otsenka i vyibor pnevmaticheskikh shin reguliruemogo davleniya dlya armeyskikh avtomobiley*” [Evaluation and selection of pneumatic adjustable pressure tires for army vehicles], *FSUE 21 NIII MO RF*, 223 p.
 13. International society for terrain-vehicle systems standards. *J. of Terramechanics*. Vol. 14. Iss. 3, September 1977. Pp. 153–182, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022489877900131>.
 14. ISO 22476-1:2012. Technical Corrigendum 1 Geotechnical investigation and testing –Field testing – Part 1: Electrical cone and piezocone penetration test.
 15. Interstate standard (2013) 20276 – 2012 “*Gruntiy. Metodyi polevogo opredeleniya harakteristik prochnosti i deformirovanosti*” [Soils. Methods of field determination of strength and deformation characteristics] Gosstandart RF-FATRM, Moscow. – 44 p.
 16. Ageikin, Ya. and Volskaya, N. (2010) “*Opredelenie parametrov sistemy shina-grunt pri provedenii raschetov na prohodimost kolesnoy mashiny*” [Determination of the parameters of the tire-ground system when calculating the permeability of a wheeled vehicle], *Engineering and Engineering Education*. M., No. 4 (25). – Pp. 18-21.
 17. Rui Hea, Corina Sandua, Aamir K. Khana, A. Glenn Guthrieb, P. Schalk Elsb and Herman A. Hamersma. Review of terramechanics models and their applicability to real-time applications, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022489817302665>.
 18. Rohani, B. and Baladi, G. Y. Correlation of mobility cone index with fundamental engineering properties of soil. US Army corps of engineers, US Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg, Mississippi: US Army, 1981. Miscellaneous Paper SL-81-4, available at: <https://www.citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1029.7249&rep=rep1&type=pdf>.
 19. Khitrov, E.G., Khakhina, A.M., Lukhminskij, V.A. and Kazakov, D.P. (2017), “*Issledovanie svyazi konusnogo indeksa i modulya deformaczii razlichnykh tipov gruntov*” [The relationship of the conical index and various soil types deformation modulus research], *Resources and technology* No. 14(4) P. 1-16, available at: www.cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-svyazi-konusnogo-indeksa-i-modulya-deformatsii-razlichnykh-tipov-gruntov (accessed 12 July 2017).
 20. Rowland, D. and Peel, J. W. (1975). Soft ground performance prediction and assessment for wheeled and tracked vehicles. *Inst. of mechanical engineering*, No 205, pp. 81–92.
 21. Ingobert C. Schmid. Interaction of vehicle and terrain results from 10 years research at IKK. *J. of Terramechanics*. Vol. 32, Iss. 1, January, 1995. Pp. 3–26, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002248989500005L>.
 22. Sally Shoop. Thawing soil strength measurements for predicting vehicle performance. *J. of Terramechanics*. Vol. 30. Iss. 6. November, 1993. Pp. 405–418, available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/002248989390034U>.
 23. Maclaurin, E. B. The use of mobility numbers to describe the in-field tractive performance of pneumatic tires. *Proc. of the 10th International ISTVS Conf.*, Kobe, Japan, August 20–24, 1990.
 24. Wong Yuan Chien David, Lim Hong How Sebastian and Chan Wei Qiang Wilson. An assessment of land vehicles trafficability. *DSTA Horizons*, 2016, pp. 54–63, available at: <https://www.dsta.gov.sg/docs/default-source/dsta-about/an-assessment-of-land-vehicles-trafficability.pdf?sfvrsn=2/>.
 25. Standard for Ground Vehicle Mobility, available at: https://www.researchgate.net/publication/235207305_Standard_for_Ground_Vehicle_Mobility.
 26. Guide to the Common Technical Requirements for Military Logistic Vehicles and Towed Equipment / DEF STAN 23-6, available at: <https://www.standards.globalspec.com/std/244958/def-stan-23-6>.
 27. Defense Transportation: Algorithms, Models and Applications for the 21st Century, available at: <https://www.elsevier.com/books/defense-transportation-algorithms-models-and-applications-for-the-21st-century/brigantic/978-0-08-044405-5>.
 28. Standardization Recommendation (STANREC) Development for Next-Generation NATO Reference Mobility Model (NRMM), available at: www.sto.nato.int/Lists/test1/activitydetails.aspx?ID=16568.

Відомості про авторів:

Грубель Михайло Григорович

кандидат технічних наук, доцент,
докторант штатний науково-організаційного відділу
Національної академії сухопутних військ ім. Гетьмана Петра
Сагайдачного,
м. Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4820-6935>
e-mail: m.g.grybel@gmail.com

Крайник Любомир Васильович

доктор технічних наук, професор
професор кафедри “Автомобілебудування” Національного
університету “Львівська політехніка”
м. Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0524-9126>
e-mail: l.kraynyk@gmail.com

Купріненко Олександр Миколайович

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
начальник кафедри бронетанкової техніки Національної
академії сухопутних військ ім. Гетьмана Петра Сагайдачного,
м. Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6692-0959>
e-mail: Kuprinenko@gmail.com

Information about the authors:**Mykhailo Hrubel**

Candidate of Sciences, Associate professor, Doctorant, Hetman
Petro Sahaidachnyi National Army Academy
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4820-6935>
e-mail: m.g.grybel@gmail.com

Lybomyr Krajnyk

Doctor of technical sciences, professor
Professor of Automotive Engineering Department, Lviv
Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0524-9126>
e-mail: l.kraynyk@gmail.com

Alexander Kuprinenko

Doctor of technical sciences, senior researcher
Chief of Department of Armoured Vehicles,
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6692-0959>
e-mail: Kyprinenko@gmail.com

Стаття надійшла до редколегії 11.09.2019 р.

УДК 621.396.96

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3\(23\).32-40](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3(23).32-40)

В. П. РЯБУХА, кандидат технічних наук, доцент,
начальник науково-дослідного відділення
сучасних методів обробки цифрової інформації
<https://orcid.org/0000-0002-8607-9551>

А. В. СЕМЕНЯКА, кандидат технічних наук,
заступник начальника науково-дослідного
відділення сучасних методів обробки цифрової
інформації
<https://orcid.org/0000-0002-1170-6151>

Є. А. КАТЮШИН, науковий співробітник
науково-дослідного відділення сучасних методів
обробки цифрової інформації
<https://orcid.org/0000-0001-8200-7289>
(Державне підприємство науково-дослідний
інститут «Квант-радіолокація», м. Київ)

В. І. ЗАРИЦЬКИЙ, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник,
начальник науково-дослідної частини
<https://orcid.org/0000-0001-9047-8152>
(Харківський національний університет
радіоелектроніки, м. Харків)

О. О. ГОЛОВІН, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник,
начальник науково-дослідного управління
розвитку озброєння та військової техніки
Повітряних Сил
<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>
(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

Цифрова адаптивна система захисту радіолокаторів від маскувальних пасивних завад на основі адаптивного решітчастого фільтра

В статті описується створений на сучасній елементній базі дослідний зразок модуля адаптивної цифрової часової обробки радіолокаційних сигналів. Він призначений для захисту РЛС контролю повітряного простору та управління повітряним рухом від маскувальних пасивних завад (ПЗ). Дослідний зразок реалізовано на основі 5-ступеневого послідовного адаптивного решітчастого фільтра (АРФ). Використання АРФ дозволяє формувати необхідні в задачах обробки сигналів функції матриць, обернених до кореляційних, без явного обчислення цих матриць, що забезпечує цілий ряд переваг в порівнянні з відомими фільтрами іншої структури. Найбільш важливі з них полягають у підвищеній чисельній стійкості й простоті урахування априорної інформації про специфіку приймально-передавальної системи РЛС, що дозволяє підвищити швидкодю адаптивної обробки.

Метою статті є ознайомлення читача з розробленим дослідним зразком, а саме з функціональною схемою реалізованої у ньому системи міжперіодної адаптивної обробки пачки радіоімпульсів на фоні ПЗ та його апаратними особливостями, що дозволяють її реалізувати, і доведення ефективності розробленої системи завадозахисту. Для підтвердження високої ефективності розробленої адаптивної системи завадозахисту наводяться деякі результати попередніх випробувань дослідного зразка з використанням цифрових записів реальних та змодельованих ПЗ. Зокрема, випробувань з візуальної оцінки результатів роботи дослідного зразка і перевірки його швидкодії.

Впровадження розробленої системи завадозахисту на основі АРФ підвищить імовірність виявлення повітряних цілей, в тому числі безпілотних літальних апаратів (дронів, квадрокоптерів тощо), при дії пасивних завад. Це дозволить зберегти життя військовослужбовців та цивільного населення, що знаходяться у зоні бойових дій, зменшити великі матеріальні збитки, які можуть бути результатом дії безпілотних літальних апаратів та підвищить рівень конкурентоспроможності вітчизняних радіолокаторів на світовому ринку.

Ключові слова: маскувальні пасивні завади, адаптивний решітчастий фільтр, безпілотні літальні апарати, часова обробка, адаптивна система завадозахисту, кореляційна матриця, радіолокаційна станція.

ВСТУП

Радіолокаційні системи контролю повітряного простору та управління повітряним рухом відіграють головну роль у розв'язанні інформаційних задач виявлення, вимірювання координат, розпізнавання та супроводження рухомих об'єктів. Розв'язання цих задач істотно ускладнюється і може бути навіть неможливим у реальних умовах наявності природних або штучних завад різного фізичного походження, зокрема, пасивних. Пасивні завади (ПЗ) утворюються відбиттями зондувальних сигналів РЛС від об'єктів, що заважають: земної і морської поверхні (що підстилає), місцевих предметів, гідрометеорів (туману, дощових або грозових хмар, дощу, снігу, граду) і штучних диполів у кожному елементі розділення за дальністю у заданому кутовому напрямку в M суміжних інтервалах зондування. Вони маскують корисні сигнали й ускладнюють тим самим добування корисної (необхідної) інформації. Тому висока завадозахищеність є найважливішою тактико-технічною вимогою до радіолокаційних засобів і систем.

У комплексі відмінностей корисних сигналів і ПЗ традиційно найважливішу роль відіграє різниця радіальних швидкостей руху цілей і джерел ПЗ. Вона обумовлює різницю форми й розташування на частотній осі доплерівських спектрів міжперіодних флуктуацій сигналів і маскувальних ПЗ від протяжних за дальністю й азимуту джерел. Ця різниця дозволяє реалізувати нетраєкторну селекцію рухомих цілей на фоні маскувальних джерел на етапі первинної міжперіодної обробки сигналів.

Боротьба із пасивними завадами складна з ряду причин. Одна з основних – їх висока інтенсивність. Наприклад, потужність ПЗ на відносно невеликих дальностях може перевершувати потужність власного шуму приймача на 30–50 дБ, хоча досить типові ситуації, коли перевищення досягає 60–70 і більше дБ. Відносний рівень корисних сигналів цілей, які повинні виявлятися, може бути значно (на десятки дБ) нижче.

В умовах ПЗ це розходження не можна зменшити за рахунок збільшення потужності передавача, оскільки при цьому збільшується як потужність корисних сигналів, так і потужність ПЗ. Ще одна причина полягає в апіорній невідомості статистичних характеристик завад, яка обумовлена різноманітністю їх джерел, залежністю від розташування й параметрів РЛС, пори року, кліматичних умов тощо. Ці характеристики можуть динамічно змінюватися за дальністю й азимуту, що суттєво обмежує інтервал стаціонарності міжперіодних флуктуацій ПЗ. Тому найбільший практичний інтерес становлять *швидкодіючі адаптивні* системи завадозахисту, які оперативним чином добувають необхідну інформацію щодо параметрів й характеристик завад безпосередньо із вхідних дій, відслідковують зміни цих характеристик і оперативним чином змінюють свої параметри (а за необхідності – і структуру) за результатами відповідної обробки вибірок прийнятих завад кінцевого (малого) об'єму.

Захисту РЛС від завад приділена величезна увага як в Україні, так і за кордоном [1–23]. Однак в існуючих РЛС накопичені до теперішнього часу досягнення

реалізовані далеко не повністю. Через велику різноманітність практично використовуваних систем захисту від завад більшість із них за структурою і (або) параметрами суттєво відрізняються від теоретично оптимальних. Так, для захисту сучасних вітчизняних РЛС від пасивних завад використовуються неадаптивні компенсаційні або фільтрові системи СРЦ [24], які не змінюють свої параметри і характеристики у залежності від вхідних дій, що знижує ефективність завадозахисту.

Таке положення можна пояснити тим, що теоретичні розробки зазвичай відповідають на запитання, «що» має відбуватися в процесі обробки заданих корисних сигналів на фоні різних завад або їх суміші. Але оптимальні розв'язки, що випливають із теорії, або наближення до них, зазвичай не супроводжуються однозначною відповіддю на запитання, «як» їх реалізувати. Це пов'язано з тим, що є багато способів їхньої реалізації, але вибір їх неоднозначний, часто суб'єктивний і диктується традиціями, накопиченими досвідом і знаннями розробників, а також можливостями елементної бази. Недоліки багатьох систем обробки сигналів можна пояснити тим, що вони розроблялися в «доцифрову епоху», технічні можливості якої не дозволяли реалізувати важливі досягнення теорії.

Сьогодні, в зв'язку з появою й стрімким розвитком цифрової елементної бази, зокрема, швидкодіючих цифрових сигнальних процесорів (ЦСП) та логічних інтегральних схем, що програмуються, склалися передумови для розроблення принципово нових і більш складних адаптивних систем завадозахисту з істотно більш високою ефективністю та впровадження їх в існуючі й нове покоління радіолокаторів контролю повітряного простору та управління повітряним рухом. Це покращить їх тактико-технічні характеристики, зокрема – дальність виявлення та точність вимірювання координат повітряних цілей в умовах дії завад різного походження й тим самим забезпечить більш надійний контроль повітряного простору України.

Важливу роль у сучасних цифрових системах адаптивної обробки сигналів відіграють обчислювальна складність, чутливість до кінцевої розрядності, раціональна організація обчислювального процесу тощо. Особливе місце тут займає можливість уніфікації адаптивних алгоритмів просторово-часової обробки сигналів на фоні завад.

Така можливість заснована на тому, що добута інформація (оцінка) про характеристики гаусових завад використовується в адаптивних системах просторово-часової обробки сигналів для формування функцій оцінки матриці $\hat{\Psi} = \hat{\Phi}^{-1}$, оберненої до оцінки кореляційної матриці $\hat{\Phi}$ завади. Такою функцією є оцінка вагового вектора $\hat{r} = \hat{\Psi} \cdot x$ (x – вектор очікуваного сигналу), яка використовується для формування передпорогової статистики ε , що порівнюється з порогом ε_0 , у результаті чого ухвалюється рішення щодо наявності або відсутності цілі в заданому роздільному об'ємі.

В статті як адаптивний фільтр, що формує необхідну в задачах адаптивної обробки сигналів оцінку функції матриці $\hat{\Psi} = \hat{\Phi}^{-1}$, що задана у факторизованій формі, без

явного обчислення оцінок цієї матриці, використовується уніфікований багатоступінчастий адаптивний решітчастий фільтр (АРФ) [1, 2], який має цілий ряд переваг порівняно з відомими адаптивними фільтрами іншої структури, зокрема:

- простота використання можливої апріорної інформації щодо специфіки структури режимів зондування для підвищення ефективності (швидкодії) адаптивної обробки сигналів на фоні пасивних завад із суттєво обмеженим за дальністю й азимутом інтервалом стаціонарності;
- підвищена стійкість при обмеженій розрядній сітці;
- спеціальна структура АРФ і високоефективні алгоритми оцінювання його параметрів наближають показники якості завадозахисту на їх основі до потенційно можливих при об'ємах навчаючих вибірок, що значно менші, ніж потрібні існуючим системам аналогічного призначення.

Таким чином, вирішення проблеми високоефективного захисту РЛС від завад має розв'язати протиріччя між теоретичною розробкою ефективних систем завадозахисту і їхньою практичною реалізацією, оскільки теоретично можуть бути розроблені високоефективні складні адаптивні системи, які неможливо реалізувати на практиці [25]. Тому актуальним є створення дослідних зразків систем захисту від завад. В [26] описано дослідний зразок системи захисту РЛС від шумових завад.

Стаття присвячена опису розробленого дослідного зразка модуля адаптивної цифрової часової обробки радіолокаційних сигналів на основі АРФ для захисту існуючих РЛС та нового покоління РЛС контролю повітряного простору та управління повітряним рухом від пасивних завад різного фізичного походження з апріорі невідомими статистичними характеристиками та наведено результати його попередніх випробувань.

Стаття організована в такий спосіб. У розділі 1 описано функціональну схему системи міжперіодної адаптивної обробки пачки радіоімпульсів на фоні ПЗ на основі АРФ, що реалізована в дослідному зразку, у розділі 2 стисло описується апаратна частина дослідного зразка, а у розділах 3 і 4 наводяться результати попередніх випробувань дослідного зразка.

1. Адаптивна система захисту від пасивних завад на основі АРФ

Функціональну схему пристрою адаптивної міжперіодної обробки (МПО) пачки радіоімпульсів на фоні ПЗ на основі квазівідбілюючого [1, 3] послідовного АРФ [1] наведено на рис. 1, а. Він складається із блока адаптивного настроювання АРФ, який містить блоки оцінки параметрів (БОП ЕРФ) елементарного решітчастого фільтра (ЕРФ), а також блока когерентної компенсації ПЗ, накопичувача M імпульсів пачки сигналу і системи СУХТ, призначеної для стабілізації рівня хибних тривог.

АРФ будується з набору елементарних решітчастих фільтрів – двохходових вагових суматорів з перехресними зв'язками [1], що показані на рис. 1, б.

У блоці адаптивного настроювання АРФ за класифікованою (без корисних сигналів) навчаючою вибіркою ПЗ і рекурентним комбінованим алгоритмом $k=4$ -рангової модифікації [27, 28] оцінюються параметри його ЕРФ, які передаються у відповідні аналогічні ЕРФ блока когерентної компенсації ПЗ, вхідним сигналом для якого служить компонента, що перевіряється на наявність сигналу, вектора аналізованого елемента дистанції в поточному періоді. Вихідні сигнали цього блоку із M суміжних періодів зондування накопичуються з урахуванням очікуваної моделі міжперіодних флуктуацій імпульсів пачки сигналу.

Якщо в РЛС використовується не вобульований, а постійний інтервал зондування, то для підвищення швидкодії адаптивної обробки сигналів АРФ може настроюватися за пачковим тьоплицевим алгоритмом [2].

2. Дослідний зразок системи захисту від пасивних завад на основі АРФ

Дослідний зразок (рис. 2) цифрової системи адаптивного захисту радіолокаторів від маскувальних пасивних завад створено на основі 5-ступеневого послідовного АРФ (рис. 1) на базі налагоджувальної плати MDSEVM6678L із високошвидкісною мікросхемою восьмиядерного цифрового сигнального процесору (ЦСП) DSP TMS320C6678.

Кожне з восьми ядер ЦСП працює з тактовою частотою 1 ГГц і забезпечує швидкодію операцій із фіксованою точкою кожного ядра до 44,8 GMAC, а із

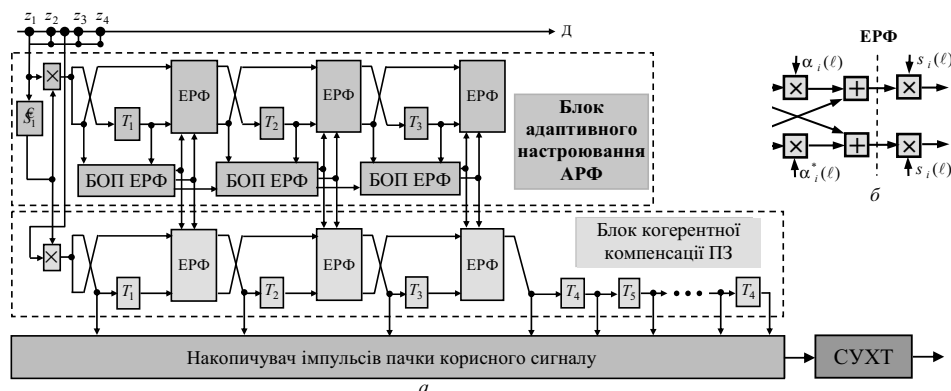


Рис. 1 – Функціональна схема пристрою адаптивної МПО сигналів на фоні ПЗ на основі АРФ (а) і елементарний решітчастий фільтр (б)



Рис. 2 – Дослідний зразок

плаваючою точкою – до 22,4 GFLOP. Вони мають по дві високошвидкісні пам'яті (кеш-пам'яті) рівня L1 ємністю по 32 кб кожна, локальну пам'ять рівня L2 512 КБ та 4 Мб спільної для всіх ядер оперативної пам'яті ЦСП.

Окрім пам'яті, вбудованої в мікросхему, обрана плата має необхідний для обробки радіолокаційних сигналів високошвидкісний оперативний запам'ятовувачий пристрій типу DDR3 (ємністю 1 Гб), додатковий накопичувач флеш-пам'яті NAND FLASH (512 Мб), пам'ять початкових налаштувань SPI FlashNOR (128 Мб) та можливість завантажувати до пам'яті EEPROM (128 Кб) стартову програму через шину I2C.

Для програмування та налагодження програмного забезпечення використовується послідовний інтерфейс Mini USB, контролер USB-JTAG та спеціалізований апаратний інтерфейс DSP JTAG.

3. Візуальна оцінка результатів роботи дослідного зразка

Проведено попередні випробування дослідного зразка цифрової системи захисту РЛС від маскувальних пасивних завад на відповідність його технічних параметрів вимогам Технічного завдання за результатами обробки цифрових записів змодельованих та реальних сигналів і завад за розробленою програмою та методикою та складені відповідні протоколи. Стисло наведемо деякі результати цих випробувань, зокрема, з візуальної

оцінкою результатів роботи дослідного зразка і перевірки його швидкодії.

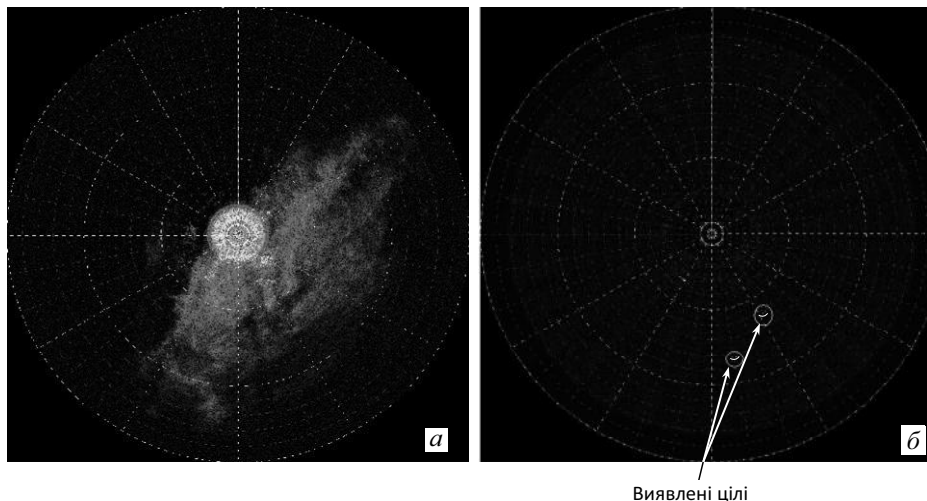
На рис. 3 показано вигляд екрана індикатора кругового огляду (ІКО) до (а) і після компенсації (б) у дослідному зразку («сире відео»), що обробляє цифрові записи реальних ПЗ діючої РЛС S -діапазону хвиль, які зроблені в дуже похмурий осінній день. Видно, що істотну долю зони огляду займають потужні відбиття від грозових хмар, місцевих предметів та земної поверхні (рис. 3, а), на фоні яких практично неможливо виявити точкові сигнали повітряних цілей.

Включення системи захисту на основі $m = 5$ -ступінчастого АРФ, що налагоджується за $M = 25$ елементною пачкою у «ковзній за дальністю» навчаючій вибірці об'єму $K = 25$, практично до рівня шуму (рис. 3, б) скомпенсувало потужні протяжні ПЗ, за рахунок чого стало можливим виявлення точкових відбивачів та їхня наступна класифікація після порогової та траєкторної обробки. Для збільшення наочності випробувань якості виявлення повітряних цілей після обробки в АРФ на рис. 4 на екрані амплітудного індикатора (АІ) показано осцилограми (в дБ) вхідних (зверху) та вихідних (знизу) сигналів АРФ для двох різних азимутальних напрямків. Відлік вхідних осцилограм починається з рівня 25 дБ, вихідних – з рівня 0 дБ, що імітує використання двопроменевого осцилографа.

Видно, що обробка в АРФ забезпечила надійне виявлення сигналів повітряних цілей у 750 (а) та 998 (б) елементах дальності, розташування яких в зоні огляду відмічено невеликими дужками на рис. 3,б.

4. Перевірка швидкодії дослідного зразка в умовах пасивних завад

До бази ПЗ були включені моделі процесів авторегресії (АР-процеси) [1] з відносними (по відношенню до рівня шуму приймача) потужностями $\eta \in (0, 60)$ дБ різних порядків $p = 1, 5, 10$ з унімодальними спектрами міжперіодних флуктуацій різної форми та ширини з коефіцієнтами міжперіодної кореляції $\rho = 0,96, 0,99$. Спектри цих АР-процесів при $\eta = 50$ дБ наведені на рис. 5.

Рис. 3 – Екран ІКО до (а) і після компенсації (б) в РЛС S -діапазону

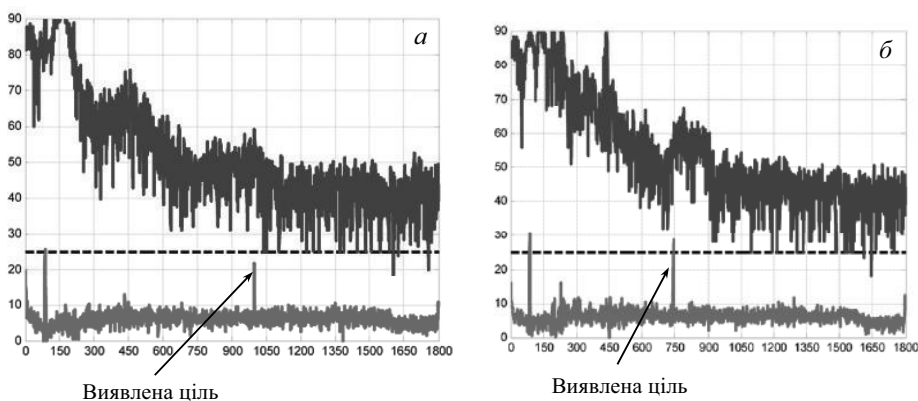


Рис. 4 – Вхідні (зверху) та вихідні (знизу) сигнали АРФ на екрані АІ з відмітками цілей у двох азимутальних напрямках

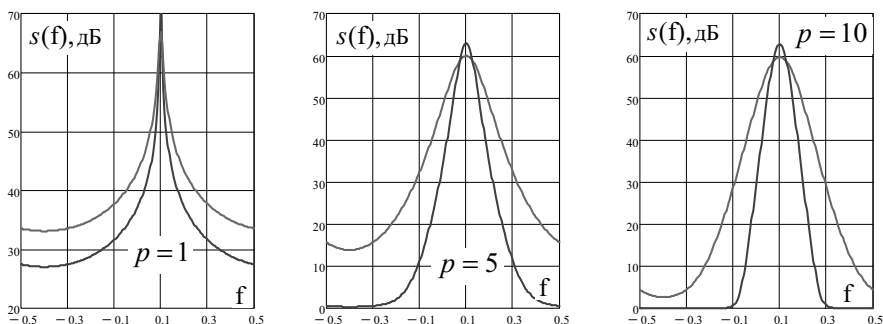


Рис. 5 – Спектри ПЗ порядків $p = 1, 5, 10$ з $\rho = 0,96$ (верхні криві) та $\rho = 0,99$ (нижні криві)

Швидкодія дослідного зразка в умовах ПЗ визначалася об’ємом навчаючої вибірки K , потрібним для встановлення сталого режиму потужності залишків завад ξ_{cl} на виході АРФ.

Приклади отриманих залежностей $\xi_{cl}(K)$ показані на рис. 6. Вони відповідають АР ПЗ із відносною потужністю $\eta = 60$ дБ порядків $p = 1$ (криві праворуч), $p = 5$ (криві посередині) та $p = 10$ (криві ліворуч), з $\rho = 0,9$ та $\rho = 0,96$.

Штриховою та штрих-пунктирною прямими тут показано рівень 3 дБ. Абсциса точки перетину цього рівня з кривою $\xi_{cl}(K)$ вказує швидкодію АРФ.

Результати проведених випробувань зведені в табл. 1. Тут відносна потужність ПЗ – $\eta = 40$ та 60 дБ; розмір пачки $M = 25$.

Із табл. 1 видно, що всі наведені в них значення, які аналізуються, не перевищували $3 \cdot m = 3 \cdot 5 = 15$, що відповідало вимогам ТЗ.

Було проведено також порівняльний аналіз ефективності створеного дослідного зразка з ефективністю неадаптивних систем завадозахисту діючих вітчизняних РЛС, який показав, що адаптивна система МПО сигналів на основі АРФ забезпечує вигоди в ефективності захисту РЛС від пасивних завад у порівнянні з

Табл. 1. Об’єм K , потрібний для встановлення сталого режиму потужності залишків завад на виході АРФ

$\eta = 40$ дБ						$\eta = 60$ дБ					
$\rho = 0.99$			$\rho = 0.96$			$\rho = 0.99$			$\rho = 0.96$		
$p=1$	$p=5$	$p=10$	$p=1$	$p=5$	$p=10$	$p=1$	$p=5$	$p=10$	$p=1$	$p=5$	$p=10$
15	8	8	15	14	12	15	13	10	15	15	15

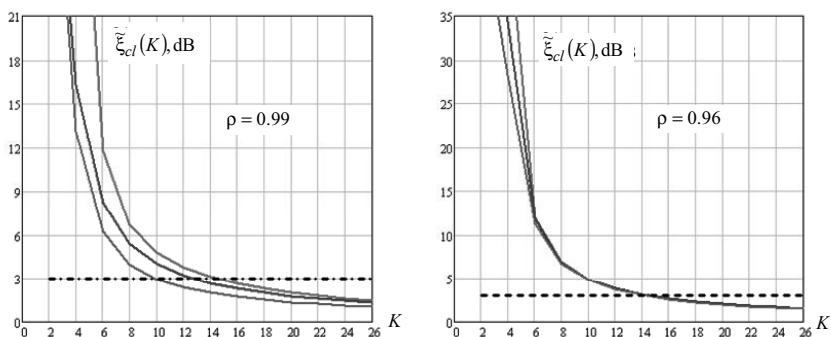


Рис. 6 – Швидкодія АРФ дослідного зразка

неадаптивними штатними системами РЛС. Так в РЛС 3-см діапазону хвиль в умовах потужних пасивних завод штатна система захисту не виявила приблизно 30% відміток від цілі із заданою траєкторією руху, тоді як дослідний зразок забезпечив її практично «безпровальну» проводку. У широко розповсюдженому радіолокаторі 10-см діапазону хвиль система міжперіодної обробки сигналів на фоні пасивних завод на основі АРФ в умовах реальних відбиттів від поверхні Землі та гідрометеорів збільшила ймовірність правильного виявлення об'єктів з 0,25 до 0,8 (при однаковій ймовірності хибної тривоги).

ВИСНОВКИ

Результати проведених випробувань дослідного зразка і порівняльного аналізу зі штатними неадаптивними системами захисту діючих вітчизняних РЛС від пасивних завод дозволяють рекомендувати розроблену цифрову адаптивну систему заводозахисту на основі АРФ для виявлення цілей у вітчизняних перспективних РЛС або РЛС, що модернізуються.

Впровадження запропонованих технічних рішень в радіолокатори контролю повітряного простору істотно підвищить їх заводозахисність і якість виявлення повітряних об'єктів, у тому числі безпілотних літальних апаратів (дронів, квадрокоптерів і т. п.). За рахунок своєчасного і якісного виявлення повітряних об'єктів (літаків, вертольотів, крилатих ракет, БПЛА) зросте ймовірність захисту стратегічних об'єктів держави та збереження життя військовослужбовців і цивільного населення, зменшення великих матеріальних збитків спричинених дією безпілотних літальних апаратів, в тому числі через зіткнення з ними літаків військової та цивільної авіації й тим самим підвищиться безпека польотів авіації. Слід сподіватися також на зростання конкурентоспроможності таких радіолокаторів на світовому ринку, підвищення іміджу України як держави з високим науково-технологічним і організаційно-виробничим потенціалом.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Адаптивные решетчатые фильтры Ч. I. Теория решетчатых структур / Д. И. Леховицкий и др. // Прикладная радиоэлектроника. Тематический вып., посвященный адаптивной пространственно-временной обработке сигналов. 2011. Т. 10, № 4. С. 381–406.
2. Адаптивные решетчатые фильтры Ч. II. Алгоритмы настройки АРФ / Д. И. Леховицкий и др. // Прикладная радиоэлектроника. Тематический вып., посвященный адаптивной пространственно-временной обработке сигналов. 2011. Т. 10, № 4. С. 407–421.
3. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: справочник / Д. И. Леховицкий и др.; под ред. Я. Д. Ширмана. М.: Радиотехника, 2007. 512 с.
4. Skolnik, M. Radar Handbook, Third Ed. New York : McGraw-Hill, 2008. 1328 p.
5. Richards, M. A., Scheer, J. A. and Holm, W. A. Principles of Modern Radar. Vol. 1. Basic Principles. Raleigh, NC : SciTech Publ., 2010. 925 p.
6. Melvin, W. L. and Scheer, J. A. Principles of Modern Radar. Vol. II. Advanced Techniques. Raleigh, NC : SciTech Publishing, 2013. 847 p.
7. Вопросы статистической теории радиолокации: Т. 1 / под ред. Г. П. Тартаковского. М.: Сов. радио, 1963. 424 с.
8. Бакулев П. А., Степин В. М. Методы и устройства селекции движущихся целей. М.: Радио и связь, 1986. 288 с.
9. Бакулев П. А., Попов Д. И., Кошелев В. И. Адаптивная обработка сигналов на фоне коррелированных помех // Адаптивные устройства обработки информации в радиолокационных и радионавигационных системах. Сб. науч. тр. МАИ, 1984. С. 19–23.
10. Skolnik, M. Introduction to Radar Systems. Third Ed. New York : McGraw-Hill, 2001. 774 p.
11. Barton, D. K. Radar System Analysis and Modeling. Boston ; London : Artech House, 2005. 546 p.
12. Литвинов В. В. Радиолокаторы систем контроля воздушного пространства: ретроспектива и современные проблемы интеграции и унификации // Прикладная радиоэлектроника. 2004. Т. 3, № 4. С. 61–74.
13. Литвинов В. В. Первые разработки корреляционных автокомпенсаторов пассивных помех (1964–1974 гг.) и проблематика СДЦ при низкой частоте посылок в обзорных РЛС // Прикладная радиоэлектроника. 2009. Т. 8, № 4. С. 461–468.
14. Lekhovytskyi, D. I. *Thirty years experience in development of adaptive lattice filters theory, techniques and testing in Kharkiv* : proc. of the 8th Intern. Conf. on Antenna Theory and Techniques (ICATT-2011), K., Sept. 20–23, 2011. P. 51–56.
15. Liu Shengheng, Ma Yahui, Huang Yongming. Sea Clutter Cancellation for Passive Radar Sensor Exploiting Multi-Channel Adaptive Filters // IEEE SENSORS J. 2019. Vol. 19, No. 3. P. 982–995. DOI : 10.1109/JSEN.2018.2879879.
16. Popov, D. I. and Smolskiy, S. M. Estimation of the clutter correlation coefficient in radar systems // Infocommunications J. 2016. Vol. 8, No. 3. P. 8–12. DOI : 10.1109/TSP.2014.2388441.
17. Xu, J., Ren, L., Fan, H., Mao, E. and Liu, Q. Clutter and range ambiguity suppression using diverse pulse train in pulse doppler system // Sensors (Switzerland). 2018. Vol. 18 (7), No. 2326. DOI : 10.3390/s18072326.
18. Bystrov, N. E., Zhukova, I. N., Reganov, V. M. and Chebotarev, S. D. Range and doppler ambiguity elimination in coherent radar using quasicontinuous signals // J. of Mechanical Eng. Research and Developments. 2017. Vol. 40, No. 4. P. 562–571. DOI : 10.7508/jmerd.2017.04.005.
19. Xu, J. Space-Time Adaptive Processing with Vertical Frequency Diverse Array for Range-Ambiguous Clutter Suppression // IEEE Transactions on Aerospace and

- Electronic Systems. 2016. Vol. 54, Iss. 9, № 7475917. P. 5352–5364. DOI : 10.1109/TGRS.2016.2561308.
20. Dutta, A. and Chandrasekar, V. *Detection, Analysis and Mitigation of Sea Clutter in Polarimetric Weather Radar* : proc. of the United-States-Nat.-Committee-of-URSI Nat. Radio Science Meeting (USNC-URSI NRSM), Boulder, Jan. 09-12, 2019.
 21. Popov, D. I. Clutter parameter estimation based on indirect algorithms // *Radioelectronics and Communications Systems*. 2019. Vol. 62, No. 1. P. 42–50. DOI : 10.3103/S0735272719010060.
 22. Guo, L., Yang, Q. and Deng, W. *Suppression of sea clutter with modified joint domain localized algorithm in shipborne HFSWR* : proc. of the *CIE Intern. Conf. on Radar (RADAR 2016)*, Guangzhou, October. 10–13, 2016.
 23. Радиолокационная станция 36Д6. Эксплуатация и техническое обслуживание : учеб. пособ. / И. Д. Май и др. Запорожье : КЭМЗ “Искра”, 2006. 139 с.
 24. Вайнштейн Л. А., Зубаков В. Д. Выделение сигналов на фоне случайных помех. М.: Сов. радио, 1960. 448 с.
 25. Адаптивные системы защиты РЛС от шумовых помех. 5. Опытный образец системы помехозащиты / Д. И. Леховицкий // *Прикладная радиоэлектроника*. 2017. Т. 16, № 3, 4. С. 95–102.
 26. Леховицкий Д. И., Рябуха В. П., Рачков Д. С., Семеняка А. В. Рекуррентные алгоритмы настройки адаптивных решетчатых фильтров // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. 2016. № 2–3. С. 26–32.
 27. Lekhovytskyi, D. I. Adaptive lattice filters for systems of space-time processing of non-stationary Gaussian processes // *Radioelectronics and Communications Systems*. 2018. № 11. P. 607–644. DOI: 10.3103/S0735272718110018.
 5. Richards, M. A., Scheer, J. A. and Holm, W. A. *Principles of Modern Radar. Vol. 1. Basic Principles*. Raleigh, NC : SciTech Publ., 2010. 925 p.
 6. Melvin, W. L. and Scheer, J. A. *Principles of Modern Radar. Vol. II. Advanced Techniques*. Raleigh, NC : SciTech Publishing, 2013. 847 p.
 7. Tartakovskiy, G. P., ed. (1963), “*Voprosy statisticheskoy teorii radiolokatsii. Vol. I*” [Questions of Statistical Radar Theory], Sov. radio, M. 424 p.
 8. Bakulev, P. A. and Stepin, V. M. (1986), “Metody i ustroystva selektsii dvizhushchikh tsey” [Methods and devices of moving targets detection], *Radio i svyaz*, M. 288 p.
 9. Bakulev, P. A., Popov, D. I. and Koshelev, V. I. (1984), “Adaptivnaya obrabotka signalov na fone korrelirovannykh pomekh” [Adaptive processing of signals against the background of correlated interferences], *Adaptive information processing devices in radar and radio navigation systems: Col. scientific works*. MAI, M. pp. 19–23.
 10. Skolnik, M. *Introduction to Radar Systems*. Third Ed. New York : McGraw-Hill, 2001. 774 p.
 11. Barton, D. K. *Radar System Analysis and Modeling*. Boston ; London : Artech House, 2005. 546 p.
 12. Litvinov, V. V. (2004), “*Radiolokatory sistem kontrolya vozdušnogo prostranstva: retrospektiva i sovremennyye problemy integratsii i unifikatsii*” [Radars of airspace control systems: a retrospective and current problems of integration and unification], *Applied Radio Electronics*, Kharkiv, Vol. 3, № 4, pp. 61–74.
 13. Litvinov, V. V. (2009), “Pervye razrabotki korrelyatsionnykh avtokompensatorov passivnykh pomekh (1964–1974 gg.) i problematika SDTs pri nizkoy chastote posylok v obzornykh RLS” [The first developments of correlation autocompensators of clutter (1964–1974) and the problems of moving-target indication systems at a low carrier frequency in surveillance radars], *Applied Radio Electronics*, Kharkiv, Vol. 8, № 4, pp. 461–468.

REFERENCES

1. Lekhovytskyi, D. I. i dr. (2011), “Adaptivnye reshetchatye filtry Ch. I. Teoriya reshetchatykh struktur” [Adaptive lattice filter. Part 1. Lattice theory], *Applied Radio Electronics*, Kharkiv, Vol. 10, No. 4, pp. 381–406.
2. Lekhovytskyi, D. I. i dr. (2011), “Adaptivnye reshetchatye filtry Ch. II. Algoritmy nastroyki ARF” [Adaptive lattice filter. Part 2. Algorithms for estimating ALF parameters], *Applied Radio Electronics*, Kharkiv, Vol. 10, No. 4, pp.407–421.
3. Lekhovytskyi, D.I. (2007), pod red. Ya. Shirman “*Radioelektronnyye sistemy. Osnovy postroeniya i teoriya: Spravochnik*” [Radio Electronic systems: Basics of construction and theory. Handbook], *Applied Radio Electronics*, M., 512 p.
4. Skolnik, M. *Radar Handbook*, Third Ed. New York : McGraw-Hill, 2008. 1328 p.
14. Lekhovytskyi, D. I. *Thirty years experience in development of adaptive lattice filters theory, techniques and testing in Kharkiv* : proc. of the 8th Intern. Conf. on Antenna Theory and Techniques (ICATT-2011), K., Sept. 20–23, 2011. P. 51–56.
15. Liu Shengheng, Ma Yahui, Huang Yongming. *Sea Clutter Cancellation for Passive Radar Sensor Exploiting Multi-Channel Adaptive Filters* // *IEEE SENSORS J*. 2019. Vol. 19, No. 3. P. 982–995. DOI : 10.1109/JSEN.2018.2879879.
16. Popov, D. I. and Smolskiy, S. M. Estimation of the clutter correlation coefficient in radar systems // *Infocommunications J*. 2016. Vol. 8, No. 3. P. 8–12. DOI : 10.1109/TSP.2014.2388441.
17. Xu, J., Ren, L., Fan, H., Mao, E. and Liu, Q. Clutter and range ambiguity suppression using diverse pulse train in pulse doppler system // *Sensors (Switzerland)*. 2018. Vol. 18 (7), No. 2326. DOI : 10.3390/s18072326.

18. Bystrov, N. E., Zhukova, I. N., Reganov, V. M. and Chebotarev, S. D. Range and doppler ambiguity elimination in coherent radar using quasicontinuous signals // *J. of Mechanical Eng. Research and Developments*. 2017. Vol. 40, No. 4. P. 562–571. DOI : 10.7508/jmerd.2017.04.005.
19. Xu, J. Space-Time Adaptive Processing with Vertical Frequency Diverse Array for Range-Ambiguous Clutter Suppression // *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*. 2016. Vol. 54, Iss. 9, № 7475917. P. 5352–5364. DOI : 10.1109/TGRS.2016.2561308.
20. Dutta, A. and Chandrasekar, V. *Detection, Analysis and Mitigation of Sea Clutter in Polarimetric Weather Radar* : proc. of the United-States-Nat.-Committee-of-URSI Nat. Radio Science Meeting (USNC-URSI NRSM), Boulder, Jan. 09-12, 2019.
21. Popov, D. I. Clutter parameter estimation based on indirect algorithms // *Radioelectronics and Communications Systems*. 2019. Vol. 62, No. 1. P. 42–50. DOI : 10.3103/S0735272719010060.
22. Guo, L., Yang, Q. and Deng, W. *Suppression of sea clutter with modified joint domain localized algorithm in shipborne HFSWR* : proc. of the *CIE Intern. Conf. on Radar (RADAR 2016)*, Guangzhou, October. 10–13, 2016.
23. May, I. D., Kaspirovich, A. G., Vinnik, V. A., Donchenko, A. I., Motyil, V. N. and Antonenko, V. G. (2006), “*Radiolokatsionnaya stantsiya 36D6. Eksploatatsiya i tekhnicheskoe obsluzhivanie: uchebnoe posobie*” [Radar 36D6. Operation and Maintenance: tutorial], KEMZ “Iskra”, Zaporozh’е, 139 p.
24. Vaynshteyn, L. A. and Zubakov, V. D. (1960), “Vydelenie signalov na fone sluchaynykh pomekh” [Radar signal detection against the background random interference], *Sov. radio*, M. 448 p.
25. Lekhovytskyi, D. I., Riabukha, V. P., Semeniaka, A. V., Katyushin, E. A. and Gritsenko, V. N. (2017), “Adaptivnye sistemy zashchity RLS ot shumovykh pomekh. 5. Opytnyy obrazets sistemy pomekhozashchity” [Adaptive radar noise jamming protection systems. Exploratory model of a jamming protection system], *Applied Radio Electronics*, Kharkiv, Vol. 16, No. 3,4, pp.95–102.
26. Lekhovytskyi, D. I., Riabukha, V. P., Rachkov, D. S. and Semeniaka, A. V. (2016), “Rekurrentnye algoritmy nastroyki adaptivnykh reshetchatykh filtrov” [Recursive algorithms of adaptive lattice filters adjusting], *Tehnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature*, № 2–3, pp. 26–32.
27. Lekhovytskyi, D. I. Adaptive lattice filters for systems of space-time processing of non-stationary Gaussian processes // *Radioelectronics and Communications Systems*. 2018. № 11. P. 607–644. DOI: 10.3103/S0735272718110018.

Відомості про авторів:**Рябуха Вячеслав Петрович**

кандидат технічних наук, доцент, начальник науково-дослідного відділення сучасних методів обробки цифрової інформації державного підприємства «НДІ радіолокаційних систем «Квант-радіолокація», м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-8607-9551>

e-mail: viacheslav.riabukha@nure.ua

Семеняка Андрій Вікторович

кандидат технічних наук, заступник начальника науково-дослідного відділення сучасних методів обробки цифрової інформації державного підприємства «НДІ радіолокаційних систем «Квант-радіолокація», м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-1170-6151>

e-mail: semandvik@gmail.com

Катюшин Євген Анатолійович

науковий співробітник науково-дослідного відділення сучасних методів обробки цифрової інформації державного підприємства «НДІ радіолокаційних систем «Квант-радіолокація», м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-8200-7289>

e-mail: evgeniy-ns@ukr.net

Зарицький Валерій Іванович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідної частини Харківського національного університету радіоелектроніки, м. Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-9047-8152>

e-mail: valerii.zarytskyi@nure.ua

Головін Олексій Олександрович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Повітряних Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>

e-mail: a_a_golovin@ukr.net

Information about the authors:**Viacheslav Riabukha**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Research Department the Modern Digital Information Processing Methods at State enterprise “Scientific research Institute of Radar Systems “Kvant-Radiolokatsija”, Kyiv, Ukraine.

<https://orcid.org/0000-0002-8607-9551>

e-mail: viacheslav.riabukha@nure.ua

Andrii Semeniaka

Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of Research Department the Modern Digital Information Processing Methods at State enterprise “Scientific research Institute of Radar Systems “Kvant-Radiolokatsija”, Kyiv, Ukraine.

<https://orcid.org/0000-0002-1170-6151>

e-mail: semandvik@gmail.com

Yevhen Katiushyn

Researcher of Research Department the Modern Digital Information Processing Methods at State enterprise “Scientific research Institute of Radar Systems “Kvant-Radiolokatsija”, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-8200-7289>

e-mail: evgeniy-ns@ukr.net

Valerii Zarytskyi

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Research Section at Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-9047-8152>

e-mail: valerii.zarytskyi@nure.ua

Oleksii Holovin

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Chief of the Directorate for Scientific Research of Armament and Military Equipment of the Air Force of Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>

e-mail: a_a_golovin@ukr.net

Стаття надійшла до редколегії 12.11.2019 р.

УДК 623.983

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4\(24\).41-48](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4(24).41-48)

A. V. DEREPA, Doctor of Technical Sciences,
Senior Researcher

<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>

(Central Scientific-Research institute of weapon and military equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyev)

O. G. LEIKO, Doctor of Technical Sciences, Professor

<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>

(National Technical University "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute")

O. I. DROZDENKO, Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>

(National Technical University "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyev)

A. O. SVIATNENKO, Head of Research Department

<https://orcid.org/0000-0002-2084-2243>

(State Enterprise "Kiev scientific research institute of hydrodevices", Kyiv)

Properties of electrical fields of hydroacoustic transducers with internal baffle

The properties of electric fields of hydroacoustic piezoceramic radiators with internal acoustically soft baffles in a wide range of frequencies depending on the size of the baffles have been studied. The studies were carried out taking into account the interaction of physical fields in the process of energy conversion and interaction of the piezoceramic shell and baffle on the acoustic field during the formation of energy in the surrounding space. The analytical relations that describe these physical fields are related to the general solution of three differential equations - the wave equation, the equation of electromechanical oscillations of the electroelastic piezoelectric shell and the equation of state of this piezoelectric shell. The solution of the problem is to solve the problem by means of the known methods of infinite system of linear algebraic equations concerning the unknown coefficients of decomposition of mechanical and acoustic fields of radiation in the Fourier series. The regularities in the frequency behavior of the total capacitive and dynamic currents of electric excitation of the radiators of hydroacoustic stations and the total, active and reactive input electrical resistance of these radiators are established. The complexity of constructing the matching devices for generators and radiators in the radiation devices of hydroacoustic stations is shown. It is established that by selecting the size of internal baffles it is possible to effectively control the parameters of electric fields of shielded radiators in different frequency ranges of hydroacoustic stations operation. At small sizes of internal baffles and preservation of the sizes of hydroacoustic radiators in the field of low frequencies there are new resonant frequencies which are two times less in size, than the basic resonant frequency of the shielded radiator. At the same time, the new resonant frequencies have greater efficiency in converting electrical energy into acoustic energy. The use of these frequencies increases the range of the hydro-acoustic station.

Key words: hydroacoustic piezoceramic radiator, internal acoustic baffle, electrical substitution schemes.

INTRODUCTION

In emitting system of hydro-acoustic stations (GAS), the excitation electronic generator (EG) and the hydro-acoustic sonar array are interconnected and mutually affecting each other. At the same time, for the emitting system, the characteristics of the sonar array, which are determined by the electrical circuit of the emitter replacement, are essential. Such circuits are complex, multi-circuit, and include elements with changing parameters to take more account of the behavior of the emitters under different conditions of use.

Differences in the scheme of replacement of piezoceramic are particularly difficult.

This is due to the complex interconnection of the electrical, mechanical and acoustic fields that occur in the piezoceramic emitters during their operation due to the inherent piezoceramic environments of the piezoelectric effect. At the same time, simplified single-circuit schemes are usually used for engineering calculations [1]. Their construction is based on the use of the method of equivalent electromechanical circuits [2 - 4]. According to it, the emitter is presented in the form of a multi-circuit, containing electrical and mechanical circuits, which are connected to each other by the so-called electromechanical transformer [5, 6].

Variant of a single-circuit scheme corresponding to the fundamental resonant frequency of the shielded emitter piezoceramic shell is shown in Fig. 1 and contains electrical 1 and mechanical 2 circuits and an electromechanical transformer 3.

Conversion of mechanical circuit 2 to the electrical side 1 of the radiator leads to the fact that the electrical circuit replacement at the resonant frequency of its piezoceramic shell is a parallel connection of two branches (Fig. 2), where M , C , R - are reduced to the electrical side in the form of inductance, capacitance and active load of the support of the mechanical side of the radiator [3], a R_{el} , by virtue of its magnitude, is not taken into account; L_c - compensating inductance.

The first branch describes the static behavior of the emitter. The second branch describes the dynamic behavior of the emitter due to the interaction of its physical fields - electrical, mechanical and acoustic in the process of the emitter. It is in the presence of this interaction and the great mathematical complexity of its description that the main problem is to build adequate circuits for the replacement of piezoceramic emitters.

The purpose of this work is to study the properties of electric fields of cylindrical piezoceramic emitters with internal baffles considering two types of interaction, namely, the interaction of physical fields in the process of energy conversion and the interaction of the piezoceramic shell and the acoustic field baffle in the formation of energy in the surrounding space.

CALCULATION RELATIONS

Conversion of electric energy into acoustic in a sound emitter (Fig. 3) consisting of a piezoceramic shell 1 of medium radius r_0 with circular polarization, an internal acoustic soft baffle 2 in diameter $2\alpha_0$, and fluid 3, which fills the inner cavity of the shell 1, is characterized by two features.

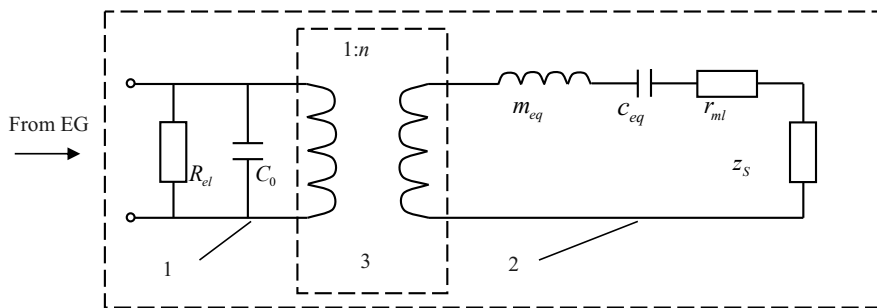


Fig. 1. Single-circuit equivalent electromechanical transducer circuit: 1 – electrical chain; 2 – mechanical chain; 3 – electromechanical transformer; R_{el} – resistance of dielectric losses; C_0 – electrical capacity; n – electromechanical transformation coefficient; c_{eq} – equivalent flexibility; m_{eq} – equivalent mass; r_{mi} – resistance to mechanical losses; z_s – radiation resistance.

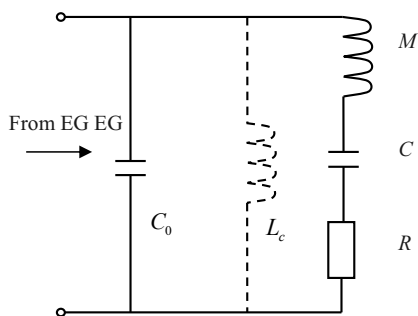


Fig. 2. Wiring diagram of radiator replacement

The first of these is the interconnection of electric, mechanical and acoustic fields in the process of converting to a piezoceramic shell of energy. The second is due to the repeated exchange of sound waves between the shell 1 and the baffel 2, which leads to the interaction of their acoustic fields. Finding analytical relations describing these physical fields is related to the joint solution of three differential equations - the wave equation, the equation of electromechanical oscillations of the elastic piezoceramic cylindrical shell, and the equation of state of this piezoceramic shell. The solution of this problem was carried out in [7] and is reduced by known methods [8] of an infinite system of linear algebraic equations with respect to the unknown coefficients of the decomposition of the mechanical and acoustic fields of a radiator into Fourier series. The parameters of the electric field of the shielded radiator are calculated by the formulas:

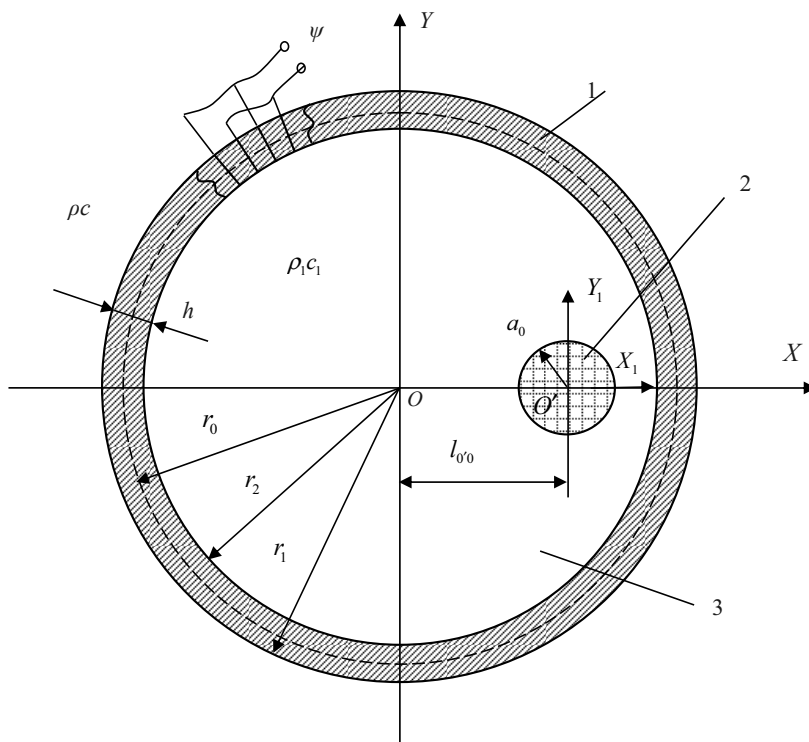


Fig. 3. Normal cross-section of the radiator with the inner baffel

– electric excitation current

$$J = -i\omega S_{el} \left\{ \varepsilon_{33}^0 \frac{\psi_0 M^2}{2\pi r_0} + \frac{e_{33}}{r_0} \sum_{j=1}^M \left[\sum_n u_n e^{\frac{i n 2\pi j}{M}} + \sum_n w_n e^{\frac{i n 2\pi j}{M}} \right] \right\};$$

– electric field strength in the piezoceramics of the emitter at surround polarization

$$E_\varphi = \frac{-\psi_0 M}{2\pi r_0};$$

– the input electrical resistance of the emitter, its active R_{in} and reactive X_{in} components

$$Z_{in} = R_{in} + iX_{in} = \frac{\psi_0}{J},$$

where ω – circular excitation frequency; S_{el} – the area of the electrodes of the piezoceramic prisms of the radiator shell; M – the number of prisms in the shell; ψ_0 – excitation voltage; ε_{33}^0 and e_{33} – dielectric constant and constant piezoceramics of the shell; u_n , w_n – coefficients of decomposition of the mechanical field of the shielded converter into Fourier series.

The analysis of the above relations shows that the total current J of the excitation of the radiators is the sum of the capacitive (first addition) and dynamic (second addition) currents. This is evidenced by the electrical circuit replacement (Fig. 2). Availability of capacity $C_0 = \frac{\varepsilon_{33}^0 S_{el} M^2}{2\pi r_0}$ leads to the consumption of a large capacitor current from the electric generator. This current overloads the generator and all electrical lines of communication. To eliminate this deficiency or reduce its impact capacity C_0 compensate for artificially created compensating inductance L_c , shown in Fig. 2 dashed lines. But, as practice shows, this approach does not exhaust the problem of matching the generator with the emitter. This is due to the presence in the scheme of substitution (Fig. 2) of the right dynamic branch. Even if the emitter is operating at the frequency of its mechanical resonance, when the reactive load of its dynamic branch approaches zero, the parameter R_l is not once and forever a fixed constant.

The above applies to the variant of construction of the emitter in the form of a single-mode oscillating system. For multimode systems, which are shielded emitters [7], a single-circuit equivalent electromechanical circuit of the emitter is converted into a multi-circuit [3]. In this case, each circuit corresponds to its fashion and describes the behavior of the emitter at the resonant frequency of its fashion. It will also be natural for several electrical circuits to replace the emitter to match their modes with their dynamic branch parameters.

RESULTS OF NUMERICAL EXPERIMENTS

We determine the behavior of the electric fields of piezoceramic cylindrical radiators with internal baffles, depending on the size of the baffles.

Calculations of the parameters by the above formulas will be carried out for the following values of the characteristics of the emitters: $r_0 = 0,068$ м; $h = 0,008$ м;

$M=48$ piezoceramics of ZTBS-3 composition (lead barium zirconate): $\alpha_0 = 0,2r_0$; $\alpha_0 = 0,5r_0$; $\alpha_0 = 0,9r_0$;
 $\rho c = \rho_l c_l = 1,5 \cdot 10^6$ кг/м²с; $\psi_0 = 200$ В; $r_0 - h/2 - \alpha_0 - l_{w0} = 0,003$ м.

A systematic analysis of the results of extensive numerical experiments for radiators with internal baffles, depending on the baffle sizes, is presented in Fig. 4 and 5. Note that when performing all these calculations, the minimum distance between the shell and baffle surfaces was kept constant.

The analysis of the given dependences of the currents in the external circuit of the shielded emitter (Fig. 3) shows the following. For all baffle sizes, the capacitive current, as it should be, varies equally and in proportion to the frequency. This is due to the fact that the piezoceramic shell of the radiator is not subject to any changes.

The dynamic component of full current behaves differently. Its frequency behavior is completely determined by the size of the baffle. For the little ones ($\alpha_0 \sim 0,2r_0$) baffle sizes (рис. 4а) and, as a result, significant violations of the radial symmetry of the emitter construction result in different behavior of current amplitudes in different frequency ranges. In the low-frequency pre-resonance region (0–8 kHz) There are several significant narrowband bursts whose amplitudes exceed or greatly exceed the current amplitude at the resonance frequency of the piezoceramic shell. The frequencies of these bursts are more than half the natural frequency of the shell. The resonant region of the piezoceramic shell and the appearance of several very narrow band bursts characterize the resonant region (8–14 kHz) of the emitter. Their amplitudes are smaller than the current amplitude at the shell's own resonance, and the frequencies of these bursts are located above the shell frequency.

In the high-frequency post-resonance region (above 14 kHz), the current amplitude decreases significantly and amplitude dips occur to zero.

Increasing the size of the baffles ($\alpha_0 = 0,5r_0$) causes significant changes in the frequency dependences of the dynamic current amplitudes (Fig. 4b). In the low-frequency pre-resonance region, the resonant bursts of amplitudes disappear and there is a gradual increase in the amplitude of the dynamic current close to the direct proportionality. The resonance region undergoes significant changes. The natural frequency of the piezoceramic shell decreases and its resonance band decreases. New resonant surges are emerging in this area. Their amplitudes are comparable to the current amplitude at the natural frequency of the piezoceramic shell, and the resonance bands are narrower compared to the resonance band of the shell, but much larger than such resonance bands at small baffle sizes (Fig. 4а).

In the high-frequency post-resonant region, the current amplitude decreases significantly (more than an order of magnitude). At the same time, very narrow-band bursts of current amplitudes of different magnitude occur at separate frequencies. The placement in the inner volume of the shell of a large cylindrical baffle radiator ($\alpha_0 \sim 0,9r_0$) fundamentally changes the above-described patterns in the behavior of dynamic current (Fig. 4с).

Multi-resonance in all frequency ranges is disappearing. Dynamic current has only one resonance burst at the natural

resonance frequency of the piezoceramic shell of the radiator. It is interesting that at different baffle sizes, the amplitude of the dynamic electric current of the emitter remains almost unchanged at the natural resonance frequency of the piezoceramic shell.

Let us now consider the frequency regularities of the behavior of the full excitation current of a shielded emitter. As noted, full current is an algebraic sum of capacitive and dynamic currents. Analysis of curves in Figs. 5 indicates that, in different frequency domains, these components have different effects on full current. And this influence, in turn, depends on the size of the baffle. In the low-frequency region at medium and large sizes of the inner baffle, the capacitance component controls the regular behavior of the full current. With small baffle sizes in this frequency range, the dynamic component is also connected to this control. In the resonant region, the total current is almost completely, except for the upper frequencies of this range, determined only by the dynamic current.

Finally, at high frequencies, the regular behavior of the full current is determined by its capacitive component at all sizes of internal baffles.

The established patterns of behavior of dynamic and full currents have their physical nature. This nature is determined by the interconnection of physical fields in the conversion of energy in a piezoceramic emitter, and is related to the changes that occur in its mechanical field under the influence of the interaction of the acoustic fields of the shell and the baffle in the internal volume of the emitter [9–12].

Indeed, with radially symmetric electrical excitation of the piezoceramic shell, energy is pumped into the emitter at the zero mode of oscillation of the shell. Repeated exchange of sound waves emitted by the shell and reflected waves from the baffle and the shell and asymmetrical placement of the baffle inside the shell destroy the radial symmetry of the internal acoustic field of the radiator. This led to fundamental changes in the mechanical field of the emitter, which consists in the generation of new, following the zero, modes of oscillations and the emergence, under certain conditions, standing waves of zero mode oscillations.

Naturally, under the influence of these factors, which behave differently at different frequencies, the frequency dependence of the zero mode of oscillation changes significantly compared to the radially symmetric acoustic load of the cylindrical emitter. And since the chosen scheme of the organization of the electric excitation of the emitter energy is “pumped” into its mechanical field only at the zero mode of oscillation, the frequency changes in the behavior of the zero mode are reflected in the frequency dependences of the exciting electric current. This is confirmed by comparing the graphs in Fig. 4 with graphs in Fig. 3 works [10]. As we can see, for all baffle sizes, there is a complete coincidence of the frequency dependencies of the amplitudes of the oscillatory velocity of the emitter at the zero mode of oscillation and the dynamic component of the total current.

As already noted, electric current characterizes the efficiency of electromechanical energy conversion. The ability of the converter’s electric field to effectively absorb electrical energy from an electronic generator is determined by

its input electrical resistance. The analysis of its frequency dependences (Fig. 5) shows that the influence of the dimensions of the inner baffle on them is essential only in the regions of pre-resonance and resonance frequencies. In the field of post-resonant frequencies, the input electrical resistances of the shielded emitters have stable values, with a tendency to decrease these values as the excitation frequency of the emitter increases. At low values (Fig. 5a), the low-frequency region of the shielded emitter is characterized by large values of the total input electrical resistance and inversely proportional to its decrease with increasing excitation frequency.

At the same time, attention should be paid to the appearance: first, of frequencies where this resistance acquires small values, and, secondly, of two frequency ranges of 1.5–1.8 octaves with unchanged and relatively small input impedance. The resonance region at such values α_0 has two frequency ranges with sharply different (more than an order of magnitude) but stable in frequency in these ranges values of full input electrical resistance. These are the features of frequency behavior $|Z_m|$ significantly improve the ability of the electronic generator to match the emitter.

Increasing the baffle size to average $\alpha_0 \sim 0,5r_0$ significantly changes the frequency dependence of the input electrical resistance of the radiator (Fig. 5b). In the low-frequency pre-resonance region, the value is $|Z_m|$ it varies inversely with the frequency and has several features that have been set for small values α_0 (Fig. 5a). These features move to the resonant region and are at low levels of values $|Z_m|$ a number of narrowband bands appear in this area, where the magnitude of the full resistance increases significantly (3–5 times).

Go to large baffle ($\alpha_0 \sim 0,9r_0$) causes the disappearance of all previously established features in the behavior of full electrical resistance (Fig. 5b). There is only one resonant burst of magnitude in the resonant region $|Z_m|$.

Analysis of the frequency behavior of active components of full resistance shows its small values for baffles of all sizes, with the exception of two features. The first is that in the resonant region there is a resonant burst of active resistance, the frequency of which decreases with increasing size α_0 baffle. The second feature indicates that the active resistance in the low-frequency region is lower than in the high-frequency region.

Analysis of the frequency dependences of reactive electrical resistance indicates that it is it that determines the frequency behavior of full resistance. Almost the entire test frequency range for all baffle sizes has a reactance of capacitive character. The exceptions are the narrow frequency ranges in the low-frequency and resonant regions for small and medium-sized baffles (Figs. 5a, 5b). In these ranges, the capacitive nature of the resistance changes to inductive.

CONCLUSIONS

The results of electrical field studies of hydroacoustic piezoceramic radiators with internal baffles allow us to draw conclusions that are important for the construction of the GAS radiating paths.

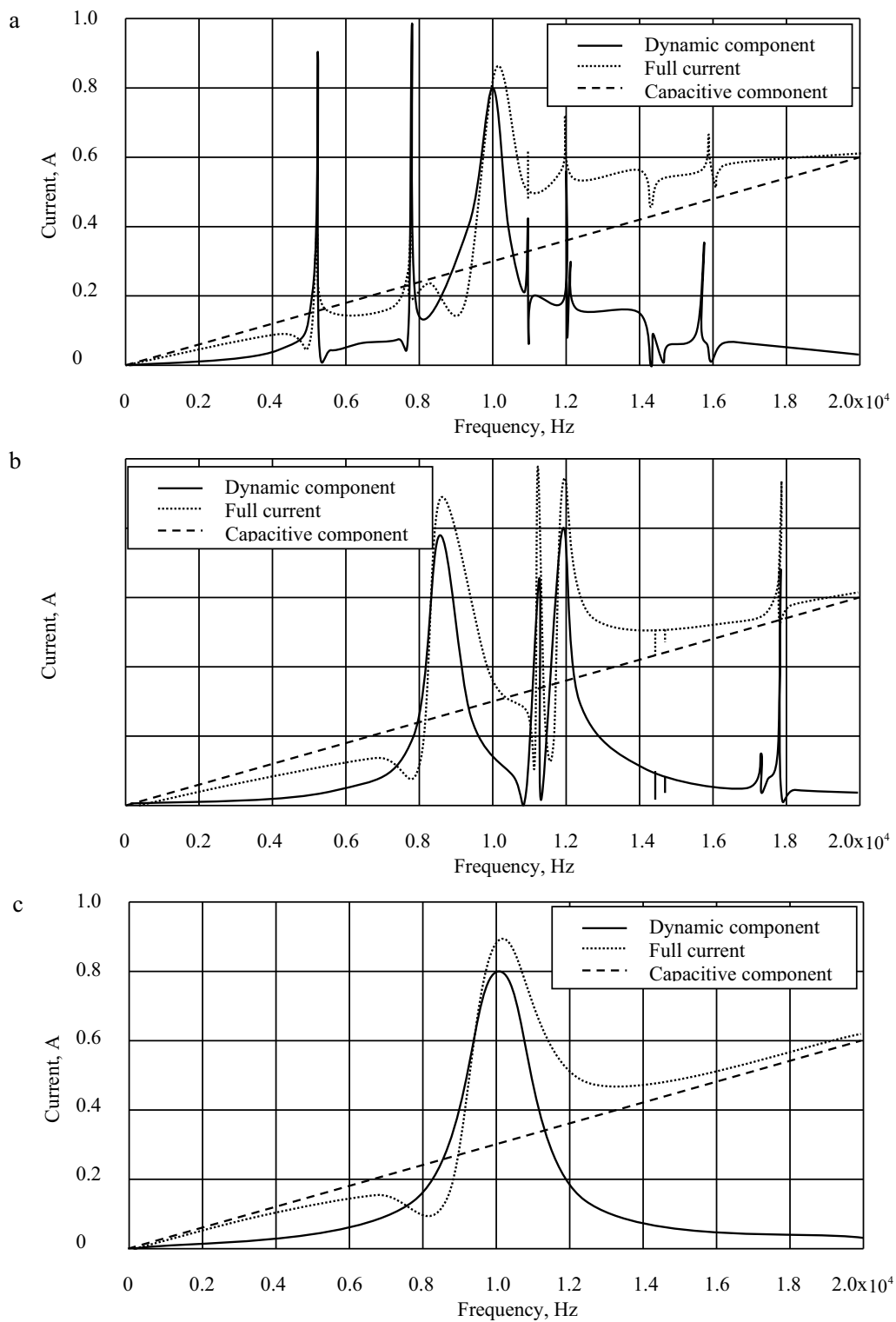


Fig. 4. Frequency dependencies of the amplitudes of the capacitive and dynamic components and the total current shielded emitter at baffel sizes: a) $\alpha_0 = 0,2r_0$; b) $\alpha_0 = 0,5r_0$; c) $\alpha_0 = 0,9r_0$

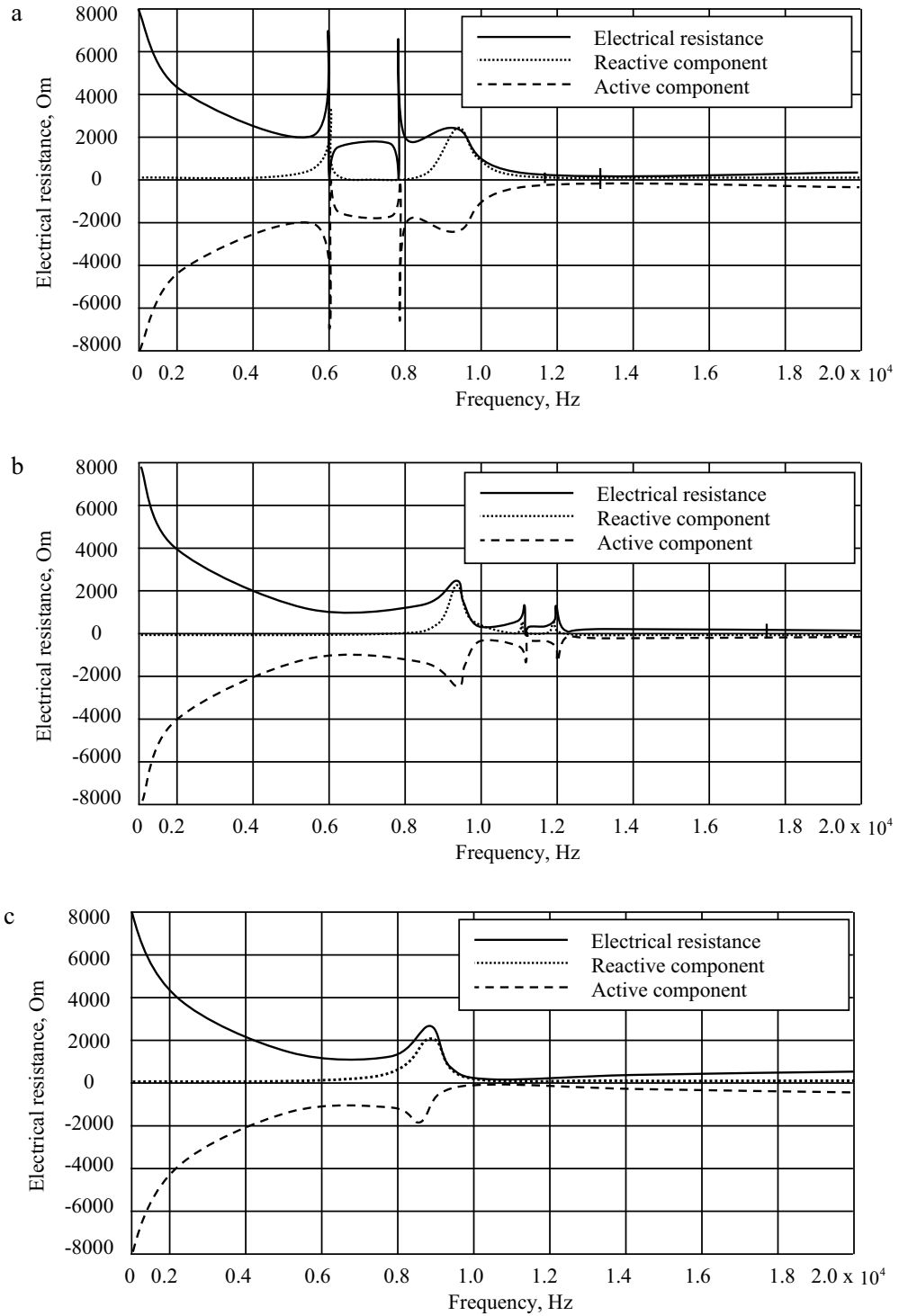


Рис. 5. Frequency dependencies of active, reactive and full input electrical resistances shielded emitter at baffel sizes: a) $\alpha_0 = 0,2r_0$; b) $\alpha_0 = 0,5r_0$; c) $\alpha_0 = 0,9r_0$

First, by selecting the sizes of the internal baffels, you can effectively control the parameters of the electric fields of the shielded radiators in different frequency ranges of the GAS operation.

Secondly, with the small size of the inner baffels and maintaining the size of the acoustic emitters in the low frequencies, new resonant frequencies arise, which are 1.5–2 times smaller in value than the main resonant frequency of the shielded emitter, but with greater efficiency (by 10–50 %) conversion of electrical energy into acoustic. The use of these frequencies increases the range of the GAS.

Third, with all sizes of interior baffels throughout the frequency range, except for a few narrow areas, the capacitive excitation current of the emitters significantly exceeds its dynamic current. This requires that measures be taken to protect the GAS radiative tract and overhead lines.

Fourth, the complex frequency nature of the behavior of the reactive component of the input electrical resistance of the shielded emitter complicates the technical implementation of the chains of coordination of the electronic generator GAS with its loading hydroacoustic emitter. This is due to the need to build harmonization devices with complex frequency dependence of their characteristics.

REFERENCES

- Koryakyn, Yu. A., Smyrnov, S. A. and Yakovlev, H. V. (2005), «Korabelnaya hydroakusticheskaya tekhnika: sostoyaniye y aktualnyy problema» [Ship hydroacoustic equipment: state and current]. Nauka, St. Petersburg. 410 p.
- Grinchenko, V. T., Vovk, I. V. and Macipura, V. T. (2013), «Volnovye zadachi akustiki» [Wave acoustic problems]. Interservis, K. 572 p.
- Didkovs'kyj, V. S., Lejko, O. H. and Savin, V. H. (2006), «Elektroakustichni p'yezokeramichni peretvoryuvachi (rozrakhunok, proektuvannya, konstruyuvannya)» [Electroacoustic piezoceramic converters (calculation, design, construction)]. Imeks-LTD, Kirovohrad. 448 p.
- Aronov, B. S., Brawn, D. A. and Bachand, C. L. (2007). Effects of coupled vibrations on the acoustical performance of underwater cylindrical shell transducers. J. Acoust. Soc. Am. 122, № 6. Pp. 3419–3437.
- Gusak, Z. T. and Lejko, A. G. (2016), «O chastotnykh harakteristikah jelektricheskikh polej cilindricheskoy p'ezokeramicheskoy anteny s jekranom v vide nezamknutogo kol'cevogo sloja» [About frequency characteristics of electric fields of cylindrical piezoceramic antenna with a baffel in the form of an unclosed ring layer]. Zhurnal nano- ta elektronnoy fiziki. V.8. №1, 01029, pp. 1 – 6.
- Lejko, A. G., Shamarin, Ju. E. and Tkachenko, V. P. (2000), «Podvodnaja akusticheskaja apparatura i ustrojstva: v 2 t. T.I. Podvodnye akusticheskie anteny. Metody rascheta zvukovykh polej» [Underwater acoustic equipment and devices: in 2 v. V.I. Underwater acoustic antennas. Methods of calculation of sound fields]. Avanpostprim. K. 320 p.
- Shenderov, E. L. (1972), «Volnovye zadachi gidroakustiki» [Wave problems of hydroacoustics]. Sudostroenie, Leningrad. 374 p.
- Husak, Z. T. (2017), «Vyprominyuvannya hidroakustichnykh syhnaliv cylindrychnymu p'yezokeramichnomu peretvoryuvachamy z ekranamy: dissertatsiya» [Radiation of hydroacoustic signals by cylindrical piezoceramic transducers with baffels: dissertation], K., 271 p.
- Derepa, A. V. and etc. (2018), «Svoystva cilindricheskikh gidroakusticheskikh preobrazovatelej s vnutrennimi podatlivymi jekranami» [Properties of cylindrical hydroacoustic transducers with internal pliable baffels]. Weapons And Military Equipment. No. 4(29), pp. 40–461. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.29.17>.
- Aronov, B. S. (2006). Experimental methods for investigating the acoustical interaction between transducers. J. Acoust. Soc. Am. 119 (6), pp. 3822–3830.
- Aronov, B. S. (2003). Energy analysis of a piezoelectric body under nonuniform deformation. J. Acoust. Soc. Am. 113, pp. 2638–2646.
- Aronov, B. S. (2005). The energy method for analyzing the piezoelectric electroacoustic transducers. J. Acoust. Soc. Am. 117, pp. 210–220.

Відомості про авторів:

Дерепа Анатолій Войткович

доктор технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку морських озброєнь науково-дослідного управління розвитку морських озброєнь та техніки Військово-Морських Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>
e-mail: derepaan@i.ua

Лейко Олександр Григорович

доктор технічних наук
професор
професор кафедри акустики та акустoeлектроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>
e-mail: Alexander_leiko@ukr.net

Дрозденко Олександр Іванович

кандидат технічних наук
доцент
доцент кафедри акустики та акустoeлектроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>
e-mail: drozdenko@i.ua

Святненко Андрій Олегович

начальник науково-дослідного відділу Державного підприємства «Київський науково-дослідний інститут гідроприладів»
<https://orcid.org/0000-0002-2084-2243>
e-mail: sviatnenkoa@gmail.com

Information about the authors:

Derepa Anatolii

Doctor of Technical Sciences

Senior Research

Leading researcher of the Scientific Research Department

Navy Armament of the Scientific Research Management

Navy Armament and Equipment Research Directorat of the

Central Scientific Research Institute of Armament and Military

Equipment of the Armed Forces of Ukraine.

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>

e-mail: derepaan@i.ua

Leiko Oleksandr

Doctor of Technical Sciences

Professor

Professor of the Chair of Acoustics and Acoustoelectronics of

the National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv

polytechnic institute"

<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>

e-mail: Alexander_leiko@ukr.net

Drozdenco Oleksandr

Candidate of Technical Sciences

Senior Lecturer

Senior Lecturer of the Chair of Acoustics and Acoustoelectronics

of the National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky

Kyiv polytechnic institute"

<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>

e-mail: drozdenco@i.ua

Svyatnenko Andriy

Chief of Scientific Research Department

State Enterprise «Kyiv Scientific Research Institute of

Hydrodevices»,

<https://orcid.org/0000-0002-2084-2243>

e-mail: sviatnenkoa@gmail.com

The article was received by the editorial board on
27.08.2019.

УДК 532. 5:623.823.2

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4\(24\).49-55](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4(24).49-55)**О. О. РАССТРИГИН**, доктор технічних наук,
професор<https://orcid.org/0000-0002-1483-6111>**А. М. ЗІРКА**, кандидат технічних наук<https://orcid.org/0000-0001-5304-2894>**Д. М. БЕЛЯЄВ**, кандидат технічних наук<https://orcid.org/0000-0001-6707-554X>(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки
Збройних Сил України, м. Київ)

Методика розрахункової оцінки гідродинамічної повздовжньої сили на корпусах перспективних швидкісних засобів при русі по водній поверхні різного стану

У статті розглядаються методичні аспекти побудови вдосконаленої методики щодо оцінки гідродинамічної повздовжньої сили при розрахунках гідродинамічних характеристик швидкісних засобів, що рухаються по водній поверхні (безпілотні літальні апарати, безкіпажні надводні засоби, швидкісні судна, гідроплани, екраноплани, глисируючі засоби ураження, тощо), а також можливості обґрунтування та формування тактико-технічних вимог до них і прийняття проектних рішень на етапі їх концептуального проектування.

Ключові слова: методика оцінки гідродинамічної повздовжньої сили, безпілотні літальні апарати, швидкісні судна, тактико-технічні вимоги

В статье рассматриваются методические аспекты построения усовершенствованной методики оценки гидродинамической продольной силы при расчетах гидродинамических характеристик скоростных средств, которые движутся по водной поверхности (беспилотные летательные аппараты, безкипажные надводные средства, скоростные суда, гидропланы, экранопланы, глиссирующие средства поражения, и т. п.), а также возможности обоснования и формирования тактико-технических требований к ним и принятие проектных решений на этапе их концептуального проектирования.

Ключевые слова: методика оценки гидродинамической продольной силы, беспилотные летательные аппараты, скоростные суда, тактико-технические требования

ВСТУП

Проблема отримання достовірної інформації про гідродинамічні характеристики об'єктів, що розробляються, та знаходяться в процесі експлуатації та повинні взаємодіяти з водною поверхнею (швидкісні судна, гідролітаки, літаки-амфібії, екраноплани та ін.) дуже складна та важлива.

Значена інформація у багатьох випадках є вирішальною для прийняття рішення щодо остаточного вибору обрисів перспективного зразка озброєння та військової техніки (ОВТ) на основі альтернативних варіантів, які розглядаються у процесі як концептуального, так і попереднього проектування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час для визначення динамічних характеристик, які безпосередньо пов'язані з морехідністю, використовується, як правило, фізичне моделювання у гідробасейнах або на відкритій воді [1]. Такий метод достатньо дорогий за умов необхідності наявності великого обсягу унікального обладнання, динамічного та геометрично подібної моделі досліджуваного зразка, великих енергетичних витрат. Крім того, необхідність внесення змін в комплектування зразка у процесі досліджень або його перекомпонування за результатами отриманих експериментальних даних дуже складний процес, що потребує значних коштів і часу. Результати таких досліджень не завжди інформативні, також при цьому виникають питання стосовно закону руху моделі та їх переносу на натурні зразки. Більшість відомих розрахункових підходів щодо визначення динамічних характеристик швидкісних суден обмежено застосуванням лише для окремих режимів, що не дозволяє їхнє використання у всьому діапазоні швидкостей ходу і стану водної поверхні та мають багато припущень та обмежень [1–4]. Це, у свою чергу, потребує проведення додаткових експериментальних досліджень для визначення поправок до чисельних моделей, що пов'язано з вищезазначеними труднощами та великими затратами.

У зв'язку з відзначеним було розроблено вдосконалену методику для оперативного оцінювання гідродинамічних характеристик швидкісних об'єктів у процесі руху по водній поверхні різного стану, що заснована на синтезі різних методик та моделей з врахуванням додаткових напрацювань, що були отримані останніми роками та дозволяє із задовільною для практики точністю отримувати необхідну інформацію у широкому діапазоні швидкостей ходу.

Зокрема, в статті розглянуто побудову вдосконаленої методики визначення повздовжньої складової загальної гідродинамічної сили. Викладений матеріал по суті є продовженням матеріалу, що опублікований в роботі [5].

Метою роботи є вдосконалення методики розрахунку в моделі гідродинаміки повздовжньої складової сумарної гідродинамічної сили, що діє на днище корпусу досліджуваного об'єкта у процесі його руху по водній поверхні.

Результати розрахунків. Відповідно до раніш прийнятого підходу, а саме спрощення рішення задачі нестационарної взаємодії тіл з вільною поверхнею рідини

(ВПР) (глісування, посадка на воду), шляхом зведення просторової задачі до плоскої [1–7] надалі дослідження передбачають використання методу плоских перетинів (МПП).

Суть методу та основні його припущення розглянуті в роботах [1–3] та попередньої статті авторів [5]. До речі коректне застосування МПП передбачає наявність великих змочених подовжень досліджуваних об'єктів (відношення змоченої довжини до ширини), що характерно для сучасних транспортних засобів водного базування при русі по водній поверхні.

Таким чином, у МПП розглядаються вертикальні площини, перпендикулярні поздовжній осі, що розташована на відомій (заданій) відстані від початку нерухомої системи координат. Гідродинаміка перетинів на різних фазах занурення контуру в рідину визначається з використанням аналітичних теорій [2, 4]. На режимі занурення до замиву скул в основі розрахунку гідродинамічних характеристик (ГХ) перетинів тут використовується лінійна теорія: теорія автоматичного занурення Вагнера [4], або теорія Седова [2] про удар клина, що плаває на поверхні рідини. На перехідному режимі використовується функція Логвиновича [2, 4], а на режимі після замиву скул – теорія Бобилева [4].

Такий підхід дозволяє при нескладному профілюванні обводів днищ оперативно одержувати ГХ досліджуваних об'єктів за рахунок використання аналітичних залежностей для розрахунку гідродинаміки перетинів із прийнятною точністю на етапі концептуального формування вигляду й вимог до таких об'єктів. Крім того, запропонований підхід не виключає можливість використання результатів ГХ контурів (шпангоутів), отриманих експериментально, наприклад, в ударних (бризкових) камерах [7].

Рух об'єкту досліджень (ОД) можна описати диференціальними рівняннями, що встановлюють зв'язок між координатами, швидкостями, прискореннями та силами й моментами, що діють на нього [5, 7].

Розглянемо прямування корпусу швидкісного ОД по воді в нерухомій декартовій системі координат $Oxyz$. Вісь Ox спрямуємо уздовж напрямку руху, вісь Oy – вертикально вгору, вісь Oz – перпендикулярно осям Ox , Oy на правий борт (рис. 1). Поряд із цим будемо використовувати рухому систему координат, зв'язану з центром мас ОД $O_1\xi\eta\zeta$ (рис. 1), де \vec{V}_0 – вектор переносної швидкості.

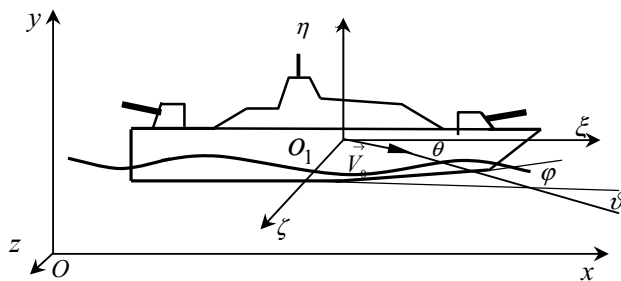


Рис. 1. Системи координат

Кутове положення ОД щодо нерухомої системи координат визначається кутами тангажа ν , диферента φ і нахилу траєкторії (посадки) θ . Через невеликі значення кута посадки θ надалі прийняте $\nu \approx \varphi$ [1–4], $\sin \nu \approx \vartheta$, а вертикальна сила в перетинах змоченої частини днища корпусу вважається рівною нормальній [1].

Проблема дослідження морехідних характеристик корпусу при русі по водній поверхні в загальній математичній постановці [4], навіть при її лінеаризації настільки складна, що на практиці в більшості випадків ідуть по шляху її подальшого спрощення [1–7]. Це стосується, у першу чергу, спрощення початкової при постановці задачі моделі середовища, зниження розмірності, обмеження розглянутих режимів руху, геометрії днищ й інших.

Відповідно до запропонованого, для чисельної реалізації МПП передбачається реалізація таких обмежень і допущень:

- нестисливість рідини $\text{div} \vec{V} = 0$;
- відсутність сил, обумовлених в'язкістю середовища (ідеальна рідина) $\text{Re} \rightarrow \infty$;
- відсутність крену й ковзання зразка при русі по воді;
- геометрія днища корпусу апроксимується плоскокілеватою формою зі скулками.

Розглянемо далі докладніше побудову методик визначення гідродинамічної поздовжньої сили при поздовжньому русі по воді абсолютно твердого корпусу з використанням МПП.

Занурення точки кіля в довільному перетині ξ щодо незбуреного рівня води (у зв'язаній системі координат $O_1\xi\eta$) у момент часу t (рис. 2) можна визначити таким чином [3]

$$\eta(\xi) = \eta^*(\xi) - y_g - \xi \vartheta + \eta_k(\xi) + \eta_g, \quad (1)$$

де $\eta^*(\xi)$ – ордината ВПР відносно незбуреного рівня, обумовлене наявністю хвильового руху й сліду в перетині ξ ; y_g – ордината центра мас зразка в нерухомій системі координат; ξ – ордината поточного перетину уздовж осі $O_1\xi$; $\eta_k(\xi)$ – ордината кіля зразка в перетині ξ ; η_g – ордината положення центра мас зразка в рухомій системі координат.

Уведемо індекси диференціювання за часом « \cdot » і за координатою ξ – « \prime » відповідно.

Значення швидкості $\dot{\eta}(\xi)$ й прискорення $\ddot{\eta}(\xi)$ занурення точки кіля для довільного перетину ξ визначають шляхом диференціювання виразу (1).

Відповідно до прийнятого підходу [1–4], імпульс сили, що діє на тіло, визначається реакцією води й дорівнює зміні кількості руху рідини за час удару dt . Використовуючи теорію приєднаних мас i , розглянувши процес занурення тіла як безперервну серію ударів, можна записати відомий вираз для гідродинамічної нормальній сили (для малих кутів кінематичних параметрів приблизно рівній гідродинамічній піднімальній силі) на одиницю довжини змоченого днища човна зразка.

$$f_{y_{\infty}}(\xi) = \frac{d}{dt} \left(m \cdot \dot{\eta} \right), \quad (2)$$

де m – приєднана маса перетину, що визначається через кут кілеватості перетину β до замиву скул (режим

«трикутника» – « Δ ») або ширину клина b_{ck} після замиву скул – « Θ ».

Приєднані маси для розглянутих режимів занурення визначається наступними виразами:

$$m_{\Delta} = \rho k(\beta) \eta^2 \quad \text{при } \eta < \frac{2b_{ck}}{\pi g \beta}; \quad (3)$$

$$m_{\Theta} = \rho n(\beta) b_{ck}^2 \quad \text{при } \eta > \frac{2b_{ck}}{\pi g \beta},$$

де η – занурення нижньої точки клину; $k(\beta) = \frac{\pi}{2} \left(\frac{\pi}{2\beta} - 1 \right)^2$, $n(\beta) = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\beta}{\pi} \right)$ – коефіцієнти приєднаних мас для відповідних режимів занурення контуру (шпангоута).

З врахуванням (1–3) після перетворень вирази для гідродинамічної нормальної (піднімальної) сили на одиницю довжини змоченого днища човна для режиму до замиву скул можна представити наступним чином

$$f_{y_{\Delta}}(\xi) = 2\rho k(\beta) \eta \dot{\eta}^2 - V \rho k'(\beta) \eta^2 \dot{\eta} + \rho k(\beta) \eta^2 \ddot{\eta}. \quad (4)$$

Виділяючи в (4) постійні та змінні складові, можна записати наступне рівняння

$$f_{y_{\Delta}}(\xi) = f_{y_{\Delta}}^*(\xi) - a_{11} \ddot{y} - a_{12} \ddot{\vartheta} + a_{13} \ddot{V}, \quad (5)$$

де коефіцієнти $a_{ij\Delta}(\xi, \eta)$ ($i=1, j=1, \dots, 3$) визначаються, як

$$\begin{aligned} a_{11\Delta} &= \rho k(\beta) \eta^2, \\ a_{12\Delta} &= \rho k(\beta) \eta^2 \xi, \\ a_{13\Delta} &= \rho k(\beta) \eta^2 (\vartheta + h'_k). \end{aligned} \quad (6)$$

Стационарна складова $f_{y_{\Delta}}^*(\xi)$ з (5) визначиться таким чином

$$\begin{aligned} f_{y_{\Delta}}^*(\xi) &= \rho(2\dot{\vartheta} - h'_k V) V k(\beta) \eta^2 - \rho(k'(\beta) \eta V - \\ &- (k(\beta) \eta V - 2k(\beta) \dot{\eta}) \eta \dot{\eta} + \rho k(\beta) \eta^2 \dot{\eta}). \end{aligned} \quad (7)$$

Для режиму із замивом скул до (2) необхідно додати $H(\lambda)$ – силу опору клину при відривному обтіканні скул. Ця сила визначається за гіпотезою стаціонарності за допомогою функції Бобилева $B(\beta)$ й перехідної функції Логвиновича $H(\lambda)$ [4]

$$f_{y_{\Theta}}(\xi) = \frac{d}{dt} \left(m \dot{\eta} \right) + \rho B(\beta) H(\lambda) b_{ck} \dot{\eta}^2, \quad (8)$$

де функція Бобилева визначається виразом [4]

$$B(\beta) = \frac{2\pi}{\pi + 4} \sqrt{1 - \frac{2\beta}{\pi}} \quad \text{при } \beta < 60^\circ, \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{\eta}{b_{ck}} - \frac{2}{\pi} \text{tg} \beta + \lambda_{\max}, \quad (10)$$

де $\lambda_{\max} = \left[\frac{1,42\pi B(\beta)}{4k(\beta) \text{tg} \beta} \right]^4$; $H(\lambda) = \frac{1,42}{\lambda^{0,25}}$.

Після перетворень одержимо рівняння:

$$f_{y_{\Theta}}(\xi) = f_{y_{\Theta}}^*(\xi) - a_{11\Theta} \ddot{y} - a_{12\Theta} \ddot{\vartheta} + a_{13\Theta} \ddot{V}, \quad (11)$$

де коефіцієнти $a_{ij\Theta}(\xi, \eta)$ ($i=1, j=1, \dots, 3$) визначаються як

$$\begin{aligned} a_{11\Theta} &= \rho n(\beta) b_{ck}^2, \\ a_{12\Theta} &= \rho n(\beta) b_{ck}^2 \xi, \\ a_{13\Theta} &= \rho n(\beta) b_{ck}^2 (\vartheta + h'_k), \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} f_{y_{\Theta}}^*(\xi) &= \rho(2\dot{\vartheta} - h'_k V) V n(\beta) \eta^2 - \rho[n'(\beta) b_{ck} + 2n(\beta) \eta b'_{ck}] V - \\ &- H(\lambda) B(\beta) \eta \dot{\eta} b_{ck} + \rho n(\beta) b_{ck}^2 \dot{\eta}. \end{aligned} \quad (13)$$

При розрахунках для будь-якого режиму занурення у випадку $\eta < 0$ або $\dot{\eta} < 0$ приймається $f_{y_{\Theta}} = 0$.

Гідростатичні сили визначаються залежно від режиму занурення за наступними залежностями

$$\begin{aligned} f_{y_{\Delta}}(\xi) &= \rho g \frac{\pi}{\text{tg} \beta} (1 - 0,25\pi) \eta^2, \\ f_{y_{\Theta}}(\xi) &= \rho g (2\eta - b_{ck} \text{tg} \beta) b_{ck}. \end{aligned} \quad (14)$$

Гідродинамічна сила в перетині ζ для будь-якого режиму руху в загальному випадку визначиться виразом

$$f_y(\xi) = f_{y_{\Delta}}^*(\xi) + f_{y_{\Theta}}(\xi) - a_{11} \ddot{y} - a_{12} \ddot{\vartheta} + a_{13} \ddot{V}, \quad (15)$$

де $f_{y_{\Delta}}^*(\xi) = a_{11} = a_{12} = a_{13} = 0$ при $\eta < 0$ або $\dot{\eta} < 0$, в інших випадках

$$f_{y_{\Delta}}^*(\xi) = (2\dot{\vartheta} - h'_k V) V C u^2 - (C_1 V - C_2 \dot{\eta}) u \dot{\eta} + C u^2 \dot{\eta}, \quad (16)$$

де

$$\begin{aligned} a_{11} &= C u^2, \\ a_{12} &= C u^2 \xi, \\ a_{13} &= C u^2 (\vartheta + h'_k). \end{aligned} \quad (17)$$

Гідростатична сила визначиться як

$$f_{y_{\Theta}}(\xi) = u C_3. \quad (18)$$

У всіх наведених виразах режими руху визначаються з умов (3).

Для зручності надалі доданим вектори параметрів, де верхнє значення приводиться для режиму до замиву скул « Δ », нижнє – із замивом « Θ »:

$$u = \left\{ \begin{array}{l} \eta \\ b_{ck} \end{array} \right\}; \quad C = \left\{ \begin{array}{l} k(\beta) \\ n(\beta) \end{array} \right\}; \quad C_1 = \left\{ \begin{array}{l} k'(\beta) u \\ n'(\beta) u + 2C b'_{ck} \end{array} \right\}; \quad (19)$$

$$C_2 = \left\{ \begin{array}{l} 2C \\ H(\lambda) B(\beta) \end{array} \right\}; \quad C_3 = \left\{ \begin{array}{l} \pi u^2 \text{tg} \beta^{-1} (1 - 0,25\pi) \\ 2\eta - \text{tg} \beta \end{array} \right\}.$$

В загальному випадку горизонтальна сила $f_x(\xi, \eta)$ в перетині ξ корпусу, що рухається по водній поверхні, є сумою нормальної й дотичної складових

$$f_x(\xi) = f_{x_p}(\xi) + f_{x_{mp}}(\xi), \quad (20)$$

де $f_{x_p}(\xi), f_{x_{mp}}(\xi)$ – складові сил тиску і тертя в перетині ξ відповідно.

Опором бризкових струменів на ділянках глісируючих поверхонь, що торкаються зі збуреним рівнем водної поверхні, у подальшому будемо нехтувати [2, 4].

Складова сили опору тиску в перетині ξ може бути визначена як проекція сили $f_y(\xi)$ у цьому ж перетині на вісь $O1\xi$, зв'язаної з центром мас системи координат [3, 7]

$$f_{x_p}(\xi) = f_y(\xi)(\vartheta + \eta'_k(\xi)). \quad (21)$$

За аналогією з (7, 12) для обчислювання опору $f_x(\xi)$ у перетині ξ можна отримати наступний вираз

$$f_x(\xi) = (f_{y_{20}}^*(\xi) + f_{y_{2c}}(\xi)(\vartheta + h'_k) + f_{y_{2a}}^*(\xi)C_4u\beta' + \rho C_f u C_5 V^2 - a_{21}(\xi)y - a_{22}(\xi)\vartheta + a_{23}(\xi)V, \quad (22)$$

де коефіцієнти $a_{ij}(\xi)$ ($i=2, j=1, \dots, 3$) рівняння (22) визначаються за наступними залежностями

$$\begin{aligned} a_{21} &= Cu^2(\vartheta + h'_k + C_4), \\ a_{22} &= Cu^2\xi(\vartheta + h'_k + C_4), \\ a_{23} &= Cu^2(\vartheta + h'_k)(\vartheta + h'_k + C_4), \end{aligned} \quad (23)$$

де C_f – коефіцієнт тертя, що визначається в роботі за відомою інтерполяційною залежністю Прандтля-Шліхтинга для тертя плоских пластин, що обтікаються безмежним потоком при турбулентному прикордонному шарі [1, 6]

$$C_f = \frac{0,455}{(\lg Re)^{2,58}}, \quad (24)$$

де Re – число Рейнольдса по змоченій довжині кіля l_k .

$$Re = \frac{V \cdot l_k}{\nu}, \quad (25)$$

де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини; коефіцієнти C_4, C_5 в залежності від режиму руху визначаються, як

$$C_4 = \begin{cases} 0,25\pi(\sin\beta \cos\beta)^{-1} \\ 0,5(\cos^2\beta)^{-1} \end{cases}, C_5 = \begin{cases} 0,5\pi(\sin\beta)^{-1} \\ (\cos\beta)^{-1} \end{cases} \quad (26)$$

Вважається, що гідродинамічні сили прикладені по середині змоченої щeki клина і в цій же точці обчислюється кут між нормаллю до днища і віссю Ox .

Сумарні гідродинамічна нормальна сила R_y , поздовжня сила R_x і поздовжній момент M_z визначаються інтегруванням уздовж змоченої довжини кільової лінії l_k елементарних сил перетинів, з використанням виразів, що наведені вище.

Рівняння для сумарної нормальної (піднімальної) гідродинамічної R_y (з врахуванням гідростатичної) сили за аналогією з поданням відповідних величин для перетину буде виглядати наступним чином

$$R_y = R_y^* - A_{11} \cdot \ddot{y} - A_{12} \cdot \ddot{\vartheta} + A_{13} \dot{V}, \quad (27)$$

де R_y^* – сумарна стаціонарна складова гідродинамічних і гідростатичної нормальних сил; A_{ij} ($i=1, j=1, \dots, 3$) – сумарні коефіцієнти при змінних параметрах, що визначають зміну сумарних гідродинамічних і гідростатичної нормальних сил.

Складові рівняння (27) визначаються наступними виразами

$$R_y^* = \int_{l_k} f_y^*(\xi) \cdot d\xi, \quad (28)$$

$$A_{11} = \rho b \int_{l_k} C d\xi, \quad (29)$$

$$A_{12} = \rho \int_{l_k} C \xi d\xi, \quad (29)$$

$$A_{13} = \rho \int_{l_k} C(\vartheta + \eta'_k(\xi)) d\xi.$$

За аналогією з вищенаведеним вираз для сумарної горизонтальної гідродинамічної, гідростатичної сил і сил тертя R_x буде мати такий вид

$$R_x = R_x^* - A_{21} \cdot \ddot{y} - A_{22} \cdot \ddot{\vartheta} + A_{23} \dot{V}, \quad (30)$$

де R_x^* – сумарна стаціонарна складова (від стаціонарної складової гідродинамічної, а також гідростатичної та тертя) горизонтальної сили зразка

$$R_x^* = \int_{l_k} f_x^*(\xi, \eta) \cdot d\xi, \quad (31)$$

сумарні коефіцієнти A_{ij} ($i=2, j=1, \dots, 3$) визначаються наступними виразами

$$\begin{aligned} A_{21} &= \rho \int_{l_k} Cu^2(\vartheta + \eta'_k(\xi) + uC_4\beta') d\xi, \\ A_{22} &= \rho b \int_{l_k} Cu^2(\vartheta + \eta'_k(\xi) + uC_4\beta') \xi d\xi, \\ A_{23} &= \rho \int_{l_k} Cu^2(\vartheta + \eta'_k(\xi) + uC_4\beta')(\vartheta + h'_k) d\xi. \end{aligned} \quad (32)$$

Аналогічним чином визначаються характеристики для сумарного поздовжнього моменту M_z . У загальному випадку поздовжній момент у перетині ξ визначається від нормальної й горизонтальної сил.

$$M_z = M_z^* - A_{31} \ddot{y} - A_{32} \ddot{\vartheta} - A_{33} \dot{V} \quad (33)$$

де M_z^* – стаціонарна складова поздовжнього моменту M_z від гідродинамічних, гідростатичних нормальної, поздовжньої і сил тертя

$$M_z^* = \int_{l_k} [(f_{y_{20}}^* + f_{y_{2c}}(\xi)) \cdot \xi + (h'_k + u\beta'C_4)(f_{y_{20}}C_8 + f_{y_{2c}}(\xi, \eta)(h_k + uC_6)) + \rho C_f u C_5 V^2 C_8] d\xi, \quad (34)$$

а сумарні коефіцієнти A_{ij} ($i=3, j=1, \dots, 3$) визначаються наступним чином

$$\begin{aligned} A_{31} &= \rho \int_{l_k} Cu^2[(\xi + h'_k(\xi) + \vartheta + u\beta'C_4)C_8] d\xi, \\ A_{32} &= \rho \int_{l_k} Cu^2[(\xi + h'_k(\xi) + \vartheta + u\beta'C_4)C_8] \xi d\xi, \\ A_{33} &= \rho \int_{l_k} Cu^2[(\xi + h'_k(\xi) + \vartheta + u\beta'C_4)C_8](\vartheta + h'_k) d\xi, \end{aligned} \quad (35)$$

де $C_6 = \begin{cases} 1 - 0,25\pi \\ 0,5 \lg \beta \end{cases}$; $C_7 = \begin{cases} 0,25\pi \\ C_6 \end{cases}$; $C_8 = h_k + uC_7$.

При розрахунках поздовжнього моменту плече поздовжньої сили перетину береться рівним відстані по висоті в зв'язаній системі координат від центра тяжіння перетину до середини його змоченого контуру. Для визначення відповідних плечей прикладання сил в

перетинах (гідродинамічної, гідростатичної і тертя) використовуються рекомендації робіт [2, 3].

Наведені вище залежності для розрахунку ГХ перетину отримані за умови нехтування повздовжнім перетіканням рідини під днищем корпусу, що має місце в дійсності. Для усунення цього недоліку в МПП надалі авторами [5] запропоновано методику врахування повздовжнього перетікання рідини під днищем корпусу, що використовує крилову аналогію і може застосовуватись як на режимах до замиву скул, так і після їх замиву.

Величина отриманої швидкості V_e [5] з врахуванням повздовжнього перетікання надалі використовується у всіх рівняннях для розрахунку ГХ перетинів замість значення V .

Величина ефективної швидкості для прийнятої геометрії контурів днища визначається ітераційним наближенням

$$V_e^k(\xi) = \frac{f_{y20}^*(\xi)}{C_9 V_e^{k-1}}, \quad (36)$$

де: $V_e^1 = 0$; $C_9 = \left\{ \frac{\pi u (tg \beta)^{-1}}{2u} \right\}$; k – номер ітерації.

Рішення (36) при чисельній реалізації здійснюється на алгоритмічному рівні, крім того, інтеграли у виразах (28, 29, 31, 32, 34, 35) при цьому замінюються кінцевими сумами.

Надалі для простоти у відповідних рівняннях будемо використовувати колишні позначення, припускаючи при цьому під значенням швидкості V її «ефективне» значення V_e .

Занурення контуру в рідину супроводжується деформацією її вільної поверхні [8]. Для підвищення точності результатів на режимі до замиву скул запропоновано надалі використовувати методику [5, 7], що дозволяє уточнити кількісну оцінку підпору невагомої рідини у функції кута кілеватості для деякої базової форми контуру за рахунок обліку впливу вагомості на ефект зустрічного руху рідини [9]. У процесі чисельних розрахунків наведена методика реалізується на алгоритмічному рівні.

З метою врахування стану водної поверхні і гідродинамічного сліду (у разі необхідності) на гідродинамічні характеристики досліджуваного об'єкту та динаміку його поведінки далі передбачається використовувати апробований науково-методичний апарат, що наведений в [7].

При проведенні обчислювального експерименту, з метою перевірки достовірності одержуваних результатів по наведеній моделі, у якості вихідних даних задавалися геометричні параметри моделі судна [10] з відомими сумарними гідродинамічними характеристиками (буксиривальним опором судна, рис. 2), які були отримані експериментальним шляхом [6]: водотоннажність $\Delta = 380$ т; розрахункова довжина $L=47,11$ м; довжина скули $L_{ск} = 39,6$ м; абсциса центра мас судна (щодо корми) $x_g = 15,84$ м ($\bar{x}_g = \frac{x_g}{L_B} = 0,4$); діапазон розрахункових швидкостей руху $V=2,5... 22,5$ м/с; діапазон

розрахункових чисел Фруда $F_{\Delta} = 0,3...2,67$; коефіцієнт статичного навантаження $C_{\Delta} = 0,886$.

Як видно з рис. 2 (крива 1) результати розрахунків у всьому діапазоні швидкостей досить добре збігаються з експериментом (помічені кружками – o).

В якості прикладу можливостей запропонованої методики на рис. 2 (крива 2) показані результати розрахунків буксиривального опору судна при зсуві центрування в ніс на 4,2% відносно заданого, що дозволяє знизити на 18% величину буксиривального опору на максимальній швидкості ходу, а також зменшити енергетичні витрати для досягнення заданих характеристик швидкохідності судна.

Наведені дані дозволяють зробити висновок щодо можливості зниження прогнозного опору судна вже на початковій стадії проектування і прийняття проектного рішення з вибору компоновання для реалізації його раціонального завантаження, що має значний інтерес для проектувальників.

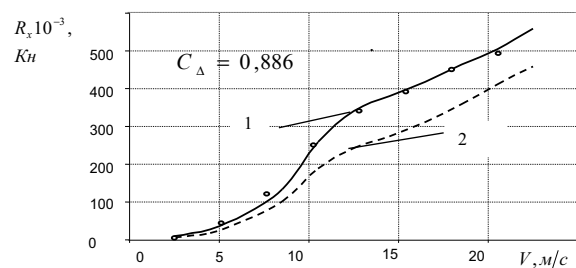


Рис. 2. Залежність буксиривального опору R_x судна від швидкості V його руху для різних значень центрування

\bar{x}_g : 1 - $\bar{x}_g = 0,4$; 2 - $\bar{x}_g = 0,442$

Висновки. Таким чином, наведена в даній роботі методика оцінки гідродинамічної повздовжньої сили на корпусах перспективних швидкісних засобів (безпілотні літальні апарати, безекіпажні надводні засоби, швидкісні судна, гідроплани, экраноплани, глисируючі засоби ураження, тощо) при русі по водній поверхні і особливості її чисельної реалізації дозволяють теоретично досліджувати особливості загальної гідродинаміки, урахувати особливості гідродинамічних характеристик при прийнятті проектних рішень на етапах загального проектування суден, що досить актуально для створення енергетично ефективних компонок сучасних транспортних засобів водного базування різноманітного призначення.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Косоуров К. Ф. Теоретические основы гидроавиации (гидромеханика гидросамолета). М.: Воениздат, 1961. 600 с.
2. Логвинович Г. В. Течения со свободными границами. Киев: Наукова думка, 1985. 296 с.
3. Тихонов А. И. Гидродинамические силы, действующие на плоскокилевые пластины при неустановившемся глиссировании. Сб. работ по гидродинамике ЦАГИ. М., 1959. С. 167–182.

4. Логвинович Г. В. Погружение профилей в жидкость, удар и глиссирование. Тр. ЦАГИ. Вып. 707. М., 1958. 40 с.
5. Расстригин О. О., Зірка А. Л., Жолоб О. Г., Ястреба Т. В. Модель оцінки гідродинамічної нормальної сили на корпусах перспективних швидкісних засобів при русі по водній поверхні для обґрунтування і формування тактико-технічних вимог та проектних рішень до них на етапі концептуального проектування. Зб. наукових пр. АСВМІ. № 3 (15). Севастополь: АСВМІ, 2015. С. 28–38.
6. Егоров И. Т., Буньков Н. М., Садовников Ю. М. Ходность и мореходность глиссирующих судов. Л.: Судостроение, 1978. 336 с.
7. Расстригин А. А. Синтез требований к характеристикам гидродинамических свойств транспортных средств водного базирования: монография; под ред. А. П. Ковтуненко. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Синтез систем вооружения и военной техники. Киев: НАУ. Том 1, 2011. 500 с.
8. Wagner, H. Über Stoss – und Gleitvorgänge an der Oberfläche von Flüssigkeiten. ZAMM, 1932. H.4. P. 193–215.
9. Расстригин О. О. Методика визначення підпору та форми вільної границі при зануренні контурів у рідину на неповну змочену конструктивну ширину. Зб. наукових пр. ЦНДІ ОБТ ЗС України. Київ, 2008. № 21. С. 123–128.
10. Майборода О. М., Расстригин О. О. Дослідження гідродинамічних характеристик корпусу швидкісного судна типу БК-9. Зб. наукових пр. ЦНДІ ОБТ ЗС України. Київ. 2002. № 11. С.148–153.
- [Model of the estimation hydrodynamic normal power on body of the perspective speed facilities when moving on water surface for motivation and shaping tactical specifications and design decisions to them in step of conceptual design], Coll. of the scientific papers *ASBMI*. No. 3 (15), pp. 28-38.
6. Iehorov, I. T., Bunkov, N. M. and Sadovnikov, Yu. M. (1978), “Khodnost i moriekhodnost hlissiruyushchikh sudov” [Navigability and seaworthiness of planning vessels], *Sudostroeniie*, L., 336 p.
7. Rasstrigin, O. O. (2011), “Sintiez tribovaniia k kharakterystykam hidrodinamichnykh svoisty transportnykh sriedstv vodnoho bazirovaniia” [Syntheses of the requirements to feature hydrodynamic characteristic of the transport facilities of the water basing], *NAU*, K., 500 p.
8. Wagner, H. (1932), Collision and sliding on the surface of liquids, *ZAMM*, H. 4, pp. 193-215.
9. Rasstrigin, O. O. (2008), “Mietodyka vyznachiennia pidporu ta formy vilnoi hranytisi pry zanurienni konruriv u ridynu na nepovnu zmochenu konstruktivnu shyrinu” [Methods of the determination buttress and forms of the free border at submersion sidebar in liquid on incompleteed constructive width], *Scientific Works of Central research inst. of weapons and military equipment of the Armed Forces of Ukraine*, No. 21, pp. 123-128.
10. Maiboroda, O. M. and Rasstrihin, O. O. (2002), “Doslilzhiennia hidrodinamichnykh kharakterystyk korpusu shvydkisnogo sudna typu BK-9” [Study hydrodynamic features of the body speed ship type BK-9], *Scientific Works of Central research inst. of weapons and military equipment of the Armed Forces of Ukraine*, No. 11, pp. 148-153.

REFERENCES

1. Kosourov, K. F. (1961), “Tieoreticheskie osnovy hidroaviatsii (hidromekhanika hidrosamolietia)” [Theoretical bases hydroaviation (hydromechanics hydroplane)], *Voienizdat*, M., 600 p.
 2. Lohvinovich, H. V. (1985), “Tiechieniie so svobodnymi hranitsami” [Currents with free border], *Naukova dumka*, K., 296 p.
 3. Tikhonov, A. I. (1959), “Hidrodinamicheskie sily, dieystvuyushchiie na ploskokilievye plastiny pri nieustanovivshiesia hlissirovaniia” [Gidrodynamic forces acting on plane-keel plates with unsteady planing], coll. papers on hydrodynamics *САНІ*, pp. 167–182.
 4. Lohvinovich, H. V. (1985), “Pohrzhieniie profiliev v zhydkost, udar i hlissirovaniie” [Submersion of the profiles in liquid, blow and planing], works *САНІ*, No. 707, 40 p.
 5. Rasstrigin, O. O., Zirka, A. L., Zholob, O. H. and Iastrieba, T. V. (2015), “Modiel otsinky hidrodinamichnoi normalnoi syly na korpusakh pierspektivnykh shvydkisnykh zasobiv pry rusi po vodnii povierkhni dlia obhruntuvannia i formuvannia taktyko-tiekhichnykh vymoh ta proiektnykh rishien do nych na ietapi kontsieptualnogo proiektuvannia” [Model of the estimation hydrodynamic normal power on body of the perspective speed facilities when moving on water surface for motivation and shaping tactical specifications and design decisions to them in step of conceptual design], Coll. of the scientific papers *ASBMI*. No. 3 (15), pp. 28-38.
- Відомості про авторів:**
- Расстригин Александр Олександрович**
доктор технічних наук, професор
головний науковий співробітник
Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1483-6111>
e-mail: 0679450438r@ukr.net
- Зірка Андрій Леонідович**
кандидат технічних наук
начальник науково-дослідного відділу розвитку радіотехнічних засобів науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Повітряних Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5304-2894>
e-mail: alzirka@ukr.net
- Беляєв Данило Миколайович**
кандидат технічних наук
науковий співробітник
Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6707-554X>
e-mail: Danilla76@ukr.net

Information about the authors:**Oleksandr Rasstrygin**

Doctor of Technical Sciences, Professor
General Researcher
of Central research institute of weapons and military equipment
of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1483-6111>
e-mail: 0679450438r@ukr.net

Andrii Zirka

Ph.D
Chief of Research Development Department of Radio Equipment
Research management of Armament and Military Equipment
of the Air Force of Central Research Institute of Armament and
Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5304-2894>
e-mail: alzirka@ukr.net

Danil Belyaev

Ph.D
Research Associate
of Central research institute of weapons and military equipment
of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6707-554X>
e-mail: Danilla76@ukr.net

Стаття надійшла до редколегії 28.10.2019 р.

УДК 534.3

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3\(23\).56-64](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3(23).56-64)**V. S. DIDKOVSKII,***Doctor of Technical Sciences, Professor*<https://orcid.org/0000-0002-0807-822X>**O. V. KORZHYK,** *Doctor of Technical Sciences, Professor*<https://orcid.org/0000-0001-6793-1676>**S. A. NAIDA,** *Doctor of Technical Sciences, Professor*<https://orcid.org/0000-0002-5060-2929>*(National Technical University "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv)*

Operational energy range calculation of the "carrier - underwater vehicle" system on use of hydroacoustic communication channel in the shallow sea

The paper presents a method for the energy range calculation of a hydroacoustic command-information communication channel, which is formed in the shallow sea by means of the surface ship, a modem of the underwater autonomous vehicle A9 M and the medium of propagation of acoustic waves. The article gives an example, sequence and order of implementation of calculations of energy range of "transmitting-receiving" of messages in given probable circumstances. At the same time the characteristics of the command-information channel, noise loading and influence of reverberation are considered. The calculations use basic features of the shallow sea and their influence on the energy range. The recommendations for the adjusting the basic characteristics of code communication modes are given, and the ways to improve existing techniques for similar directions are showed. Therefore, the purpose of the proposed work is to determine the energy range of the underwater channel of actually existing stations-subscribers of the system "SS - UV" during the exchange of control signals (identification) in the shallow sea in the typical obstacle conditions.

Key words: hydroacoustic underwater channel, interference, reverb, optimal frequency

INTRODUCTION

Modern directions of development of marine instrumentation show the growing interest of the NAVY and related structures of science and industry in the creation of autonomous robotic systems for various purposes - from scientific and technical tasks (geology, seismics, hydrography, oceanography, navigation) to the solution of the purely defense tasks [2, 3]. Special attention is paid to artificial hydrotechnical objects like coastal areas of the sea, banks, water areas of raids, ports and shipyards. That is, such entities – which can be considered as small in depth specialized reservoirs or shallow sea. The purpose, structure and methodology of application of these systems are also well within the limits of the formulation of hydroacoustic telemetry problems [2–5] for the study of dispersion features of shallow work areas and the formation of acoustic fields in them.

According to the modern information base [6–8] the development of these scientific and technical directions should be based on the study of the initial working situation - the application of the system "CARRIER – UNDERWATER VEHICLE", which is represented by a surface ship (hereinafter "SS") and certain number of autonomous underwater remotely controlled vehicles (hereinafter referred to as "UV"). The use at least one UV of the system by SS must occur according to the principles of sound communication, code communication and identification ("SC, CC, ID"), and the results of the work in this direction will depend on the correct modeling of the noise situation, creation and transmission packages of control and command information, taking into account the peculiarities of the influence of the media resource of the acoustic signal propagation medium, receiving and confirming the execution of the SS commands by the UV, which can be presented in the form of pulse signals of a certain form, duration and frequency filling.

Thus, the joint work of the subscribers of the system "SS" – "UV" in the simplest case can be reduced to the mutual execution of commands of modes "receive - transmission" or elementary messages by forming and broadcasting by the communication channel in the form of a pulse sequences in the conditions of the impact of active and passive obstacles.

The presence, usage and complexity of taking into account the influence of the underwater channel of shallow sea communications on the results of the operation of the specified system - requires explaining a number of features. Namely, at least:

- simulation of the signal distortion situation;
- estimation of the speed of message transmission;
- determination of the main technical characteristics of the operating modes of the stations-subscribers;
- taking into account the specifics of the shallow sea and the noise environment;
- calculation of energy range.

Undoubtedly, determining the energy range of the communication channel is only an initial step, which further requires adjusting the calculated value of the range in terms of attracting refractive features of the area of operation, features related to the choice of sound source type and the formation and propagation of acoustic signals in shallow seas represented by waveguides with predefined boundaries.

Thus, the purpose of the proposed work is to determine the energy range of the shallow water submarine channel subscriber stations of the system “SS – UV” during the exchange of control signals (identification) for a typical signal distortion situation with standard values of rate of the data transmission and messages.

The determination of the energy range of the specified system should be done in several stages: determination of the optimum frequency of location (messaging) and working frequency band (stage 1), selection of signal message and determination of the speed of transmission of communication messages (stage 2); calculation of the active noise that reduced to the input of acoustic antenna (AA) of the SS and UV (stage 3); and, in fact, the calculation of the range (stage 4) and the assessment of the impact on it reverberation distortions.

Note also that the proposed method of calculating range is different from those given in the sources. [9, 10] in part of the selection of detection criteria, the order of taking into account the signal distortion situation and, in fact, the calculation of the energy range of the shallow sea communication channel.

Based on the above, we believe that the chosen research area is modern, useful and relevant, and the topic itself has the prospect of further development for all the above mentioned fields of marine instrumentation in both theoretical and practical sense.

1. Common initial data

The following are selected as system subscribers:

Carrier (SS) – Frigate with characteristics according to [11]: Length $l_{SS} = 122.98 m$; Width $b_{SS} = 14.2 m$; Sludge $g_{SS} = 4.7 m$; Tonnage $Q_{SS} = 3700 m$ Maximum speed $v_{maxSS} = 35 kn$; Search speed $v_{SSsearch} = 3 kn$, recommended speed (for devices staging): $v_{SSr} = 5 kn$.

Onboard sonar – HAK MGK-335, spatial – energy characteristics of which – beam pattern (BP), directivity coefficient (D) Ω_1 , radiated acoustic power $P_{AK} = 10 kWt$; standard pulse duration in the message $\tau_i = 2 ms$ and acoustic antenna (AA) geometry.

Underwater vehicle (UV) A9-M – multipurpose autonomous underwater vehicle designed to survey the seabed in marine areas with certain terrain features for the purpose of obtaining hydrographic and oceanographic data [12]: Length $l_{UV} = 1.98 m$; Diameter $d_{UV} = 230 mm$; Weight $G_{UV} = 68.5 kg$ (tonnage $Q_{UA} \approx 0.07 m$); Search speed $v_{UVsearch} = 3 kn$, recommended speed of entering the work mode and maximum speed is $v_{UVmax} - v_{rUV} = v_{UVmax} = 5 kn$.

We will assume that subscribers carry underwater acoustic modems SoundLink “LinkQuest UWM 10000” produced by LinkQuest (Fig. 1), which are characterized by low power consumption and have an average standard pulse type message rate of at least $v_d = 2000 bps$ [12]. Dimensions of the acoustic antenna of an underwater modem (AAUV): diameter $d_{AAUV} = 0.135 m$; height $h_{AAUV} = h = 0.4 m$.

Probabilities of correct detection and false alarm P_{cd} , F_{fa} (correspond to the sufficient quality of the “receive-transmission” of the message and the possibility of a false alarm of the receiving system), we choose as $P_{cd} = 0.85$ and $F_{fa} = 10^{-3}$.



Fig 1. The appearance of the modem and the acoustic antenna Sound Link «LinkQuest UWM 10000» produced by LinkQuest (A9-M 2)

2. Calculation of optimal frequency of location (messaging) and working frequency band

2.1. Hydrolocation equation adopted to the communication tasks

According to the scheme of subscribers positions (Fig. 2), SS sonar emits pulse-type messages in the form of packets of radio pulses with tone filling f_0 (ie CW pulses). The ratio of the amplitudes of the pulses (commands, messages) corresponds to the high and low levels of binary code 1 and 0, respectively, and the duration τ_i of the pulse components of the message is $\tau_i = 2 ms$.

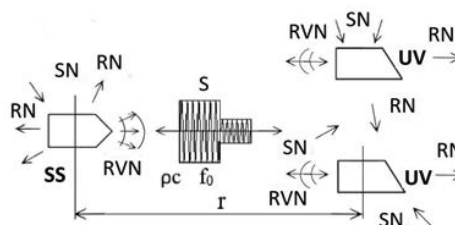


Fig.2. The scheme of subscribers positions (SS – surface ship; UV – underwater vehicle; SN – sea noise; RN – running noise; RVN – reverberation noise; S – message; f_0 – filling frequency; ρc – resistivity of environment; r – energy range)

SS and UV sonar form acoustic signals with intensity $J_2(r)$ that depends on distance r and according to [13–15] is determined by the formula:

$$J_2(r) = \frac{P_{AK} \cdot \Omega_1 \cdot R^2(\varphi, \theta)}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot 10^{-0.1 \cdot \beta \cdot r}, \quad (1)$$

where Ω_1 – SS sonar directivity coefficient; $R^2(\varphi, \theta)$ square of the beam pattern (when direction of the main lobe of the BP is the same as desired, directional coefficient transformed to axial directional coefficient. At this case $R^2(\varphi, \theta) = 1$) and r corresponds to the distance between SS and UV in meters; $\beta = 0.036 \cdot f^{3/2} \cdot r$, (dB/km) – spatial attenuation of the emitted signal, f – frequency in [kHz]; (we assume that $f = f_0$ and it is a carrier frequency of the message, r – distance in [km]).

Signal energy we will write as the product of the intensity $J_2(r)$ and duration of the message T_s :

$$E_s = J_2(r) \cdot T_s, \quad T_s = n \cdot \tau_i, \quad (2)$$

where $n=1;2;3;4...$ number of pulses (pauses).

Expression (2) does not reveal the complete signal distortion situation in the communication channel and requires some additional parameter $N_0(f)$ – namely, the spectral density of the power of the total distortion, which is given to the AA input and includes the spectral characteristics of the noise of the sea, the motion noise of the SS and UV, as well as distortions caused by reverberation. The probabilistic characteristics of reliable “receive-transmitting” message to subscribers assume to be adequate to probabilistic characteristics of detection.

In accordance with the provisions of [13, 14], the detection criteria will be chosen by the Neumann-Pearson criteria, which maximize the probability of correct detection P_{cd} while minimizing the probability of false alarm F_{fa} . Such probabilistic approach causes adding to the calculation additional detection parameter q_0^2 associated with P_{cd} and F_{fa} and provided by the “detection curves”. According to the initial values $P_{cd} = 0.85$ and $F_{fa} = 10^{-3}$ for signals with a fluctuating amplitude and random initial phase, the value of the detection parameter will be $q_0^2 = 31$.

2.2. Energy range calculation task optimality

Two concepts of optimality are used in the calculations. The first is the optimality of the matching of the frequency band of the signal path with the receiving path of the SS and UV, and the second is, in fact, the optimal frequency of the location (messaging).

Optimal location frequency (messaging) f_{opt} means the message transmitting frequency which provides the highest possible energy range in the working environment of the communication channel. Formally, the physical interpretation of the detection parameter q_0^2 is the ratio of signal energies E_s and noise N_0 :

$$q_0^2 = \frac{E_s}{N_0} = \frac{J_2(r) \cdot T_s}{N_0} = \frac{J_2(r)}{N_0 \cdot \Delta f_s}, \quad (3)$$

where Δf_s – signal frequency band of the message.

It should be noted that with the equality of the signal bandwidth Δf_s and the working band of the sonar Δf_{ppm} receiving path, the detection parameter q_0^2 and the working situation itself are optimal in the sense of excluding signal energy losses when forming the working band of the receiving path relative to the frequency Δf_s .

In this case, equation (1) for optimal work situation is given by:

$$q_0^2 = \frac{P_{AK} \cdot \Omega_1 \cdot T_s \cdot R^2(\varphi, \theta)}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot N_0} \cdot 10^{-0.1 \cdot \beta \cdot r}, \quad (4)$$

or after replacement $B = \frac{P_{AK} \cdot \Omega_1 \cdot T_s}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot N_0} \rightarrow q_0^2 = B \cdot f^m \cdot 10^{-0.1 \cdot \beta \cdot r}$. (5)

It should also be noted that in addition to (1), (4), (5) the inevitable energy losses due to the divergence of the front of the generated acoustic wave $J_2(r)$ and the losses to the spatial attenuation, another function must be involved in the calculations – the first-order loss function γ_1 . This is due to the noted before hypothetical mismatch between the signal bandwidth Δf_s and the sonar receiving bandwidth Δf_{rbw} . If $\Delta f_s \neq \Delta f_{rbw}$ this situation is considered non-optimal. γ_1 shows how many times it is necessary to increase q_{opt}^2 in order to achieve the quality of detection of the optimal system q_0^2 . The function γ_1 is represented by the expression:

$$\gamma_1 = \frac{q_0^2}{2 \cdot (1 + q_0^2)} \left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{4 \cdot M}{q_0^2} \right) \cdot \left(1 + \frac{1}{q_0^2} \right)} \right],$$

here: $M = \frac{\Delta f_{rbw}}{\Delta f_s} = \Delta f_{rbw} \cdot T_s$ – the degree of non-optimality of the tract in the case of mismatch Δf_s and Δf_{rbw} .

The account of γ_1 is done by fulfillment of equality $q_{nopt}^2 = q_0^2 \cdot \gamma_1$, and equations (4), (5) take the form

$$\begin{aligned} q_0^2 &= \frac{P_{AK} \cdot \Omega_1 \cdot T_s \cdot R^2(\varphi, \theta)}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot N_0 \cdot \gamma_1} \cdot 10^{-0.1 \cdot \beta \cdot r} \rightarrow q_0^2 = \\ &= B \cdot f^m \cdot 10^{-0.1 \cdot \beta \cdot r} \rightarrow B = \frac{P_{AK} \cdot \Omega_1 \cdot T_s}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot N_0 \cdot \gamma_1}. \quad (6) \end{aligned}$$

Equations (5), (6) shows that in addition to the possible differences between the values of the signal band and the path working band, there is a specific frequency dependence of the factors of equations (1), (4), which is associated with the choice of the optimal frequency of command-message transmission. In this case m – it is the total coefficient characterizing the total static dependence of the members $P_{AK}, \Omega_1, T_s, N_0, \beta$ (ie, their frequency dependencies changing law).

According to recommendations [14], the optimality of the calculated frequency f_{opt} for the desired communication distance is to choose the optimal combination of the frequency properties of the factors of equations (5), (6). Thus, by optimality we mean detection parameter maximization taking into account the properties of the frequency dependences of the parameters of the forms (5), (6) and the sum of the components of the exponent m , which according to the recommendations [13, 14] for the selected communication channel will have a value: $m = [P_{AK}] + [\Omega_1] + [\Omega_2] + [T_s] - [\gamma_1] - [N_0] = 3.1$.

After the study (6) on the extremum we use the expression:

$$f_{opt} = \left(\frac{80.4 \cdot m}{r} \right)^{2/3}, \quad f_{opt}, \text{kHz}, \quad r, \text{km}. \quad (7)$$

The results of calculations of the dependence of the first-order loss function γ_1 on the degree of non-optimality are shown in Fig. 3 for $q_0^2 = 7.5, q_0^2 = 15, q_0^2 = 31, M = [0-10]$. Fig. 4 shows the results of calculating the f_{opt}, kHz dependence on r, km .

As can be seen from the graphical results, with the value of the non-optimality parameter $M = 1.0$ the first-order loss function is equal to 1. Therefore, for such a small M, the

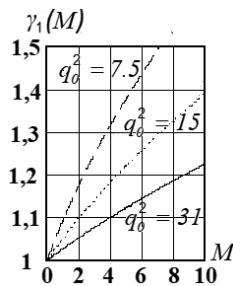


Fig. 3. Loss function dependence γ_i on non-optimal order M

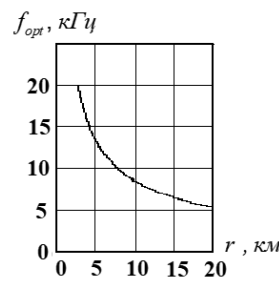


Fig. 4. Dependence of frequency f_{opt} , (kHz) achievable range r (km)

work of the communication channel must occur as the optimal system.

The results of calculations of the optimal frequency (Fig. 4) show that at a frequency $f_{opt} = 8.2 \text{ kHz}$ with quality $q_0^2 = 31$ reachable range should be $r = 10000 \text{ m}$.

2.3. Working frequency band correction

In many practical situations, the optimality of the signal bands and the receiving path band is unreachable. The main reason for this is due to its expansion due to the Doppler effect and the instability of the frequency of the message. Transmission frequency instability Δf_d is neglected because modern generators are characterized by instability $\Delta f_d \leq 10^{-9}, \text{ Hz}$.

Taking into account the mutual motion of the SS and UV and the values of the recommended speeds of entering the search mode $v_{rUV} = v_{UVmax} = 5 \text{ kn}$, $v_{rSS} = v_{SSmax} = 5 \text{ kn}$ the Doppler frequency band is calculated as

$$|\Delta f_d| = 2 \cdot f_0 \cdot \frac{v_{rUV} + v_{rSS}}{c} = 56.26 \text{ Hz} . \quad (8)$$

That is, the correction of the working frequency band due to Doppler frequency f_0 bias will be $f_0 \pm 28.12 \text{ Hz}$, which leads to the inevitable expansion of the working band of the receiving tracts SS and UV $\Delta f_{mp} = f_0 \pm 28.12 \text{ Hz}$ and optimality loss $M \neq 1$.

3. Selecting the signal-message and determining the speed of transmission of communication messages, V_{max}

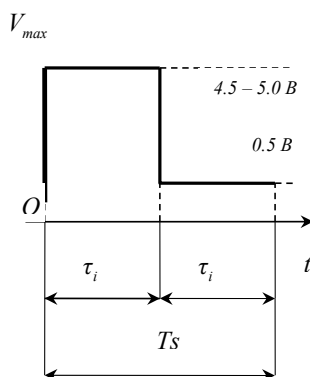


Fig.5. The structure of message

According to [15], the most convenient for clarity and generalization of the working situation is the choice of message structure in the form of a pair of rectangular pulses. The frequency band $\Delta f_s = 1/\tau_i$ corresponds to each pulse of the message with pulse duration $\tau_i = 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ and in the absence of distortions.

Let the message contain $n = 2$ characters of “1” and “0” that form the binary code (Fig. 5). Specified “1” and “0” make up an alphabet whose power is “1”; “0” - that is, represent messages in binary form for which the power of the alphabet $L = 2$.

The capacity of the specified alphabet for this message consists of a sequence of four members $\begin{pmatrix} 11 & 10 \\ 01 & 00 \end{pmatrix}$, or $L^n = L^2$. Thus, the total number of messages composed of two-character alphabet, and the amount of information (characters) in the absence of distortions, will be

$$I_n = \log_2 \left(\frac{1}{L^n} \right) = n \cdot \log_2 L = T_s \cdot \Delta f_s = 2 \log_2 2 = 2 .$$

Informational capacity of the signal:

$$C_s = \frac{I_n}{T_s} = \Delta f_s = 500 \frac{\text{binaries}}{\text{second}} = 500 \text{ Hz} , \quad (9)$$

Non-optimality parameter

$$M = \frac{\Delta f_{rbw}}{\Delta f_s} = \frac{556.24}{500} = 1.11 . \quad (10)$$

Consider obstacle situation.

The application of the Shannon-Hartley theorem [16] makes it possible to find the bandwidth of a channel with noise C_{sn} , that determines the data rate. The transmission of signal with power E_s occurs against a combination of noises with a spectral power density N_0 for which the bandwidth is determined by the expression

$$C_{su} = \Delta f_s \cdot \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{N_0} \right) . \quad (11)$$

In expression (11) the relation E_s/N_0 also becomes meaningful of the detection parameter, which for the given probabilistic characteristics is determined similarly to (3) of item 2.1. Therefore, the rate of transmission of the message in the field of noises will be:

$$V_{max} = C_{su} = \Delta f_s \cdot \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{N_0} \right) = 500 \cdot (1+31) \approx 500 \cdot \log_2 32 \approx 2500 \text{ bit/s} \quad (12)$$

and, taking into account the Doppler shift ((8), item 2.3):

$$V_{max} = C_{su} = \Delta f_s \cdot \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{N_0} \right) = 556 \cdot (1+31) \approx 556 \cdot \log_2 32 \approx 2700 \text{ bit/s}. \quad (13)$$

Thus, the data rate $V_{max} = 2700 \text{ bit/s}$ corresponds to the stated technical characteristics of the Sound Link modem «LinkQuest UWM 10000» [12]. The final value of the path working bandwidth will be $\Delta f_{mp} = 556 \text{ Hz}$ in the area of the center frequency of the message.

4. Calculation of active noises brought to the input of the acoustic antennas of the SS and UV

4.1. Noise of the sea (SS)

According to the provisions of [14], the calculation of the noise situation is reduced to the calculation of the intensities J_w (or pressures p_w) of acoustic noises caused by the noise of the sea and the moving noise of the subscribers. These noises are active dynamic [16–18] noises and are represented by the spectral power density $N_0(f)$ as a result of the energy addition of the noise field components that are brought to the input of AA of the subscribers.

Determine the intensity and pressure of acoustic noises caused by shallow sea noise (J_{sn} and p_{sn}).

According to the generalized spectral characteristics of the sea noise by sources [16, 17, 18] at frequency $f_0 = 8200 \text{ Hz}$ and its surroundings $\pm 5\%$, the greatest noise in the overall noise pattern is provided by the wind waves of the sea surface. Their level is $N_0(f) = N_{0sn} = N_0|_{f=f_0}, dB = -113.2 \text{ dB}$ relative to $n_0 = 1 \text{ J/m}^2$. Consideration of the features of the shallow sea by [18] takes place by bringing in an correction $\Delta N_{0sn}, dB = +10 \text{ dB}$. Then $N_{0sn}, dB = N_0|_{f=f_0}, dB + \Delta N_{0sn}, dB = -113.2 \text{ dB} + 10 \text{ dB} = -103.2 \text{ dB}$ or in physical units:

$$N_{0sn} = n_0 \cdot 10^{0.1 \cdot N_{0sn}, dB} = 4.78 \cdot 10^{-11} \text{ J/m}^2. \quad (14)$$

Bringing the intensity of shallow sea noise to the input of SS AA will be carried out by the expression:

$$J_{snSS} = N_{0sn} \cdot \frac{\Delta f_{rbw}}{\Omega_{SS}}, \quad (15)$$

where Ω_{SS} – immunity, which under conditions of isotropic noises takes the form of the axial directivity coefficient. For a sector of a cylindrical antenna similar to the selected sonar Ω_{SS} is calculated by the formula: $\Omega_{SS} = 2 \cdot H/\lambda$, $H = 1 \text{ m}$ – the height of AA over the forming cylinder; $\lambda = 0.18 \text{ m}$ – wavelength at frequency $f_0 = 8200 \text{ Hz}$.

Thus, $\Omega_{SS} = 11.1$, and

$$J_{snAA} = 4.78 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{556}{11.1} = 2.4 \cdot 10^{-9} \text{ Wt/m}^2. \quad (16)$$

The pressure corresponding to the noise of the sea will be $p_{snSS} = \sqrt{J_{snSS} \cdot \rho \cdot c} = 0.06 \text{ Pa}$.

4.2. SS moving noises

Determine the spectral density levels of the pressure amplitudes of the motion noises of the SS using the methodology of the reference levels of the noise emission of the SS according to the empirical formula [14, 18]:

$$N_{moveSS}, dB = N_{move}, dB = 60 \cdot \lg v_{SSsearch} + 9 \cdot \lg Q_{SS} - 20 \cdot \lg f - 86.5 = -39.7 \text{ dB}, \quad (17)$$

where $f = 5 \text{ kHz}$ reference frequency.

After frequency correction (transition to the work frequency $\Delta f_s = -8 \text{ dB}$) and correction for the SS length $\Delta N_{ISS}, dB = -20 \cdot \lg (l_{SS}/2) = -35.8 \text{ dB}$ required spectral density level of the SS motion noise additionally to (17) can be determined as

$$N_{motionx}, dB = N_{motionxx}, dB + \Delta f, dB + N_{ISS}, dB = -39.7 - 8 - 35.8 = -83.5 \text{ dB}. \quad (18)$$

The result value of the equation (18) is $N_{motionx}, dB = -83.5 \text{ dB}$. It is a common level of the motion noise that must be divided by noise types – such as propeller noise, hydrodynamic noise and machine noise.

Let us determine most significant components of the motion noises and normalized correction coefficients for their spectral levels:

SS propeller noise $\Delta N_1, dB = -15 \text{ dB}$;

SS hydrodynamic noise $\Delta N_2, dB = -6 \text{ dB}$;

SS machine noise $\Delta N_3, dB = -1.5 \text{ dB}$.

Check of the correctness of the choice of adjustment values $\Delta N_1, dB, \Delta N_2, dB, \Delta N_3, dB$ is performed by the formula $\Delta N = 10^{\Delta N_1, dB} + 10^{\Delta N_2, dB} + 10^{\Delta N_3, dB} = 1$. And the result shows that the choice is satisfactory, because the estimated value is $\Delta N = 0.981 \approx 1$.

To the specified sources of noise can be separately added noise of the ship's bow, which level at the speed $v_{SSmax} = 35 \text{ kn}$ of SS and at frequency $f_0 = 8200 \text{ Hz}$ will correspond to the noise of the rainfall and will be equal to: $N_{0rfn} = -100 \text{ dB}$. However, due to the smallness of the initial search speed, we can ignore the noise of the ship's bow.

Taking into account the value $N_{motionx}, dB$ obtained by formula (18), we can find the levels of the components of the motion noises:

$$\Delta N_{pn}, dB = N_{motionx}, dB + \Delta N_1, dB = -83.5 - 15 = -98.5 \text{ dB},$$

$$\Delta N_{hdn}, dB = N_{motionx}, dB + \Delta N_2, dB = -83.5 - 6 = -89.5 \text{ dB},$$

$$\Delta N_{mn}, dB = N_{motionx}, dB + \Delta N_3, dB = -83.5 - 1.5 = -85.5 \text{ dB}.$$

and translate these levels to their physical dimensional values:

$$\Delta N_{pn} = 0.1 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}/\sqrt{\text{Hz}}, \quad \Delta N_{hdn} = 0.3 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}/\sqrt{\text{Hz}},$$

$$\Delta N_{mn} = 0.56 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}/\sqrt{\text{Hz}}. \quad (19)$$

The noise immunity of the SS acoustic antenna against specified noise effects is determined according to [14]. To find it, we will divide considered noise sources into separate groups. The first is the noise of the ship propeller and the noise of the machines and the second is the hydrodynamic noise. The third group is the noise of the sea, discussed above (Section 2.6. Noise of the Sea).

The noise immunity of the first group can be determined by equation:

$$\Omega_{01} = 8 \cdot S / \lambda = \Omega_{0pn} = \Omega_{0mn} = 20.14,$$

where $S \approx 0.5 m^2$ – active surface area of the SS acoustic antenna, which formed by antenna segment.

Noise immunity of the second group determined as:

$$\Omega_{02} = M \cdot N = \Omega_{0hdn} = 49,$$

where $M = 7$ and $N = 7$ is the number of transducer in antenna that fill the cylindrical surface of the segment (rows and columns).

So, let's find the motion noise, which is brought to the input of SS acoustic antenna, applying the next relations

$$p_{motion nSS} = \Delta N_{motion nSS} \cdot \sqrt{\frac{\Delta f_{npm}}{\Omega_{01}}}. \quad (20)$$

So, we have:

Propeller noise pressure

$$p_{pnSS} = \Delta N_{pn} \cdot \sqrt{\frac{\Delta f_{npm}}{\Omega_{01}}} = 0.1 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{556}{20.14}} = 5.25 \cdot 10^{-5} Pa;$$

Machine noise pressure

$$p_{mnSS} = \Delta N_{mn} \cdot \sqrt{\frac{\Delta f_{npm}}{\Omega_{01}}} = 0.56 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{556}{20.14}} = 2.9 \cdot 10^{-4} Pa;$$

Hydrodynamic noise pressure

$$p_{hdnSS} = \Delta N_{hdn} \cdot \sqrt{\frac{\Delta f_{npm}}{\Omega_{02}}} = 2.3 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{556}{49}} = 1.07 \cdot 10^{-3} Pa.$$

4.3. Summary noise (SS)

Summary pressure of the active part of the noise of the shallow sea:

$$p_{\Sigma nSS} = \sqrt{(p_{pnSS})^2 + (p_{mnSS})^2 + (p_{hdnSS})^2 + (p_{motion nSS})^2} = \sqrt{2.7 \cdot 10^{-9} + 8.4 \cdot 10^{-8} + 1.14 \cdot 10^{-6} + 3.6 \cdot 10^{-3}} = 0.06 Pa$$

and the value of the spectral density of the noise power is selected as

$$N_{\Sigma nSS} = (p_{\Sigma nSS})^2 / \rho c = 2.4 \cdot 10^{-9} J/m^2$$

As can be seen from the calculations for the SS, noises is in fact determined by the noise of the sea.

4.4. Noises of the Sea (UV)

As in case of SS, for the UV the summary noise, which brought to the input of the UV's acoustic antenna consists of the sea noise and UV's motion noise.

According to the generalized spectral characteristics of the sea noise [14, 16–18] at the frequency $f_0 = 8200 Hz$ and $\pm 5\%$ its surroundings, the noise of the wind waves of the sea surface provides the greatest influence in the overall picture. Their level is $N_0(f) = N_{0sn} = N_0|_{f-f_0}, dB \approx -113.2 dB$ relative to $n_0 = 1 J/m^2$. Consideration of the features of the shallow sea in [18] occurs by means of using correction $\Delta N_{0ssn}, dB = +10 dB$.

$$\text{Then } N_{0ssn}, dB = N_0|_{f-f_0}, dB + \Delta N_{0ssn}, dB =$$

$= -113.2 dB + 10 dB = -103.2 dB$ can be represented in physical values as $N_{0ssn} = n_0 \cdot 10^{0.1 \cdot N_{0ssn}, dB} = 4.78 \cdot 10^{-11} J/m^2$.

Bringing the intensity of shallow sea noise to the input of UV acoustic antenna will be carried out by the expression:

$$J_{snUV} = N_{0ssn} \cdot \frac{\Delta f_{npm}}{\Omega_{UV}}, \quad (21)$$

where Ω_{SS} – noise immunity, which in conditions of isotropic noise becomes to the form of directional coefficient. For the cylindrical antenna sector which formed by coaxial circular rings that corresponds to the acoustic antenna of the UV which was chosen the noise immunity can be calculated by formula: $\Omega_{UV} = (4 \cdot h) / \lambda$, $h = 0.4 m$ – the height of the acoustic antenna on the forming cylinder; $\lambda = 0.18 m$ – wave length at frequency $f_0 = 8200 Hz$. Then $\Omega_{UV} \approx 9$ and $J_{snUV} = 4.78 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{556}{9} = 2.9 \cdot 10^{-9} Wt/m^2$.

The pressure respectively will have the next value

$$p_{snrvUV} = \sqrt{J_{snUV} \cdot \rho \cdot c} = 0.066 Pa.$$

4.5. UV motion noise

Due to the diversity of samples of underwater vehicles, lack of theoretical data and practical results of studying the motion noise of UV, the spectral characteristics of a small low-noise underwater vehicle were selected as the reference characteristics [13, 18].

According to the theoretical provisions of [19], in terms of the possibility of reducing the UV's own sound field and using the graphical data [13], the spectral level of pressure, which is a generalization of the noise sources of the selected UV prototype, will be $N_{motion nUV}, dB \approx -70 dB$ or in pressure values $p_{motion nUV} = 3.16 \cdot 10^{-4}, Pa/Hz$.

The results of reducing of the noise of generalized motion noises to the input of the acoustic antenna of the UV modem can be calculated using next formula:

$$p_{motion nUV} = N_{pmaxUV} \cdot \sqrt{\frac{\Delta f_{npm}}{\Omega_{02}}} = 3.16 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{\frac{556}{9}} = 2.5 \cdot 10^{-5} Pa,$$

For the acoustic antenna of the UV the noise immunity determined as $\Omega_{UV} = \Omega_2 = 2 \cdot h / \lambda = 4$ (for small cylindrical antenna with BP in horizontal plane $R(\varphi) = 1$), and reduced noises have next intensity $J_{snUV} = 4.16 \cdot 10^{-12} Wt/m^2$.

4.6. Summary noise (UV)

Summary noise of active part of the noise in shallow sea is determined by equation:

$$p_{\Sigma nUV} = \sqrt{(p_{snUV})^2 + (p_{motion nUV})^2} = \sqrt{(0.06)^2 + (2.5 \cdot 10^{-5})^2} = \sqrt{3.6 \cdot 10^{-3} + 6.25 \cdot 10^{-6}} = 0.06 Pa,$$

and power spectral density values of the noise is determined as

$$N_{\Sigma nUV} = (p_{\Sigma nUV})^2 / \rho c = 2.9 \cdot 10^{-9} J/m^2.$$

As can be seen from the calculations, the noise situation for the UV is determined, in fact, by the noise of the sea.

5. Location range determination and assessing the impact of reverberation on it

5.1. Energy range determination

To determine the energy range of the underwater communication channel we will use the location equation (4), supplementing it by noise immunity of the modem axial concentration coefficient type receive system ($\Omega_2 = 9$) and assuming that $R^2(\varphi, \theta) = 1$:

$$q_0^2 = \frac{P_{AK} \cdot \Omega_1 \cdot T_s \cdot \Omega_2}{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot N_0 \cdot \gamma_1} \cdot 10^{-0.1\beta \cdot r} \quad (22)$$

The domain of definition of the transcendental equation (22) is the distance r , and the result of it's solution is the fixation of the equality of the left and right parts at the selected $q_0^2 = 31$ and current value r .

This value (r) will be the energy reachable distance when system works at optimal frequency f_{opt} according to the spatially defined energy parameters, data rate and probabilistic situation.

Equation (22) calculation results are shown in Fig. 6 and Fig. 7.

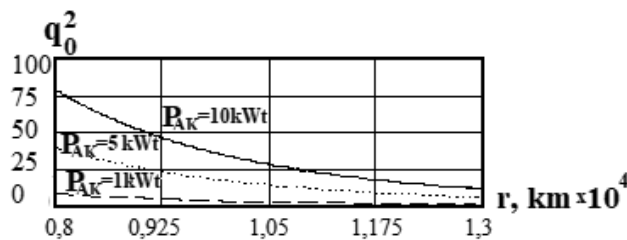


Fig. 6. To determine the energy range of the underwater communication channel (the parameters of the curves from top to bottom are the acoustic power of the SS ($P_{AK} = 10 \text{ kWt}$, $P_{AK} = 5 \text{ kWt}$, $P_{AK} = 1 \text{ kWt}$))

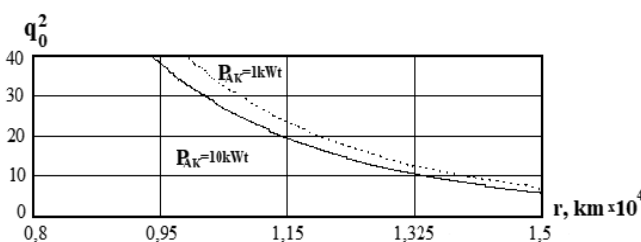


Fig. 7. To determine the energy range of the underwater communication channel (the parameters of the curves from top to bottom are the acoustic power (message – response). Curve parameters from bottom to the top are “message” for SS $P_{AK} = 10 \text{ kWt}$ and “response” for UV $P_{AK} = 1 \text{ kWt}$)

As can be seen from the calculation results, energy range for the exchange of telemetric or command information in form of binary codes in calculation conditions not less than 10000 m with detection quality (transmission) $q_0^2 = 31$.

5.2. Reverberation and it's effect on energy range

Suppose that in the area of work there is a distinct refraction, therefore, we can expect the dominant influence of bottom reverberation [18], which for the depth h shows a significant coherence and at time t is given by:

$$J_2(r_0) = \frac{P_{AK} \cdot \Omega_1 \cdot \alpha \cdot h \cdot T_s}{\pi \cdot c^3 \cdot t^4} \cdot 10^{-0.2\beta \cdot r} \quad (23)$$

where $\alpha = 10^{-5} - 10^{-9}$ reverberation coefficient which characterizing sound dispersion in the sea.

A compatible detection parameter q_Σ^2 , including the detection parameter q_0^2 for the SS noise calculated above and the detection parameter for reverberation q_p^2 , is defined as:

$$q_\Sigma^2 = \frac{J_r(r) \cdot T_s}{N_0 + N_p} \quad (24)$$

where N_p – spectral density of reverberation power, $N_p = J_r(r) \cdot \Omega_1 / \Delta f_{ppm}$. Dependency $J_r(r_0)$ is considered for the expected maximum value of the intensity to be at a distance r_0 , namely the spatial duration of the pulse signal message $r_0 = c \cdot T_s = 3 \text{ m}$.

Thus, the intensity of reverberation at the moment from the beginning and to the end of radiation of the complete message from the acoustic antenna of the modem $t = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ s}$ will be:

$$J_2(r) = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 11.1 \cdot 10^5 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 10^3}{2 \cdot \pi \cdot (2 \cdot r_0)^3 \cdot 3 \cdot 10^3} \cdot 10^{-0.2 \cdot 0.036 \cdot f^{3/2} \cdot 2 \cdot r_0 \cdot 10^3} = 5.44 \cdot 10^{-8} \text{ Wt/m}^2 \quad (25)$$

$$N_p = 5.44 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{11.1}{556} = 0.1 \cdot 10^{-8} \text{ Pa/Hz}, \quad q_\Sigma^2 = \frac{5.44 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^3}{2.4 \cdot 10^{-9} + 0.1 \cdot 10^{-8}} = 32.$$

To clarify the need to adjust the optimal sonar frequency, we calculate the optimal frequency taking into account reverberation. It is clear that changing the optimal frequency will change the corresponding range, which is an indirect effect of reverberation.

Then:

$$f_{optrev} = \left[\frac{80,4}{r} \left(m + \frac{\gamma_p q_0^2}{\gamma_l q_p^2} n \right) \right]^{2/3} \quad (26)$$

where γ_p is the second-order loss function, which, for a non-optimal system that use CW pulses and according to [14] is equal to one: $\gamma_p = 1$; n – takes into account the properties of the frequency dependences of the parameters of the forms (24), (25) and the sum of the components of the exponent n , and according to the recommendations [13,14,18] for the selected communication channel will have value $n = [M] - [\gamma_p] = 1$. Thus, using equation (25) we obtain the next value for the f_{optrev} :

$$f_{optrev} = \left[\frac{80,4}{r} \left(3.1 + \frac{1 \cdot 31}{1.05 \cdot 32} \cdot 1 \right) \right]^{2/3} = 8.17 \text{ kHz}.$$

The result of the calculations shows that the effect of reverberation on the optimal frequency is negligible (less than one percent), and adjustment for f_{opt} is not needed. Therefore, the range of 10000 m remains achievable in the conditions of influence of the passive noises.

CONCLUSION

The given materials represent an advanced methodology of calculating the energy characteristics of the hydroacoustic communication channel of the SS - UV system in shallow sea in the conditions of influence of the active and passive noises and allow to perform the estimations of the energy range and related characteristics of the telemetry modes, code communication, identification, etc. At the same time:

estimation of data transmission rate in obstacle conditions was performed using typical probabilistic criteria for the subscriber – receiver;

taking into account conditions of the shallow sea by identifying and applying corrections and assessing the impact of bottom reverberation on location frequency and range;

the noise of the channel is structured in the total noise load of the channel. It is reduced to the acoustic antenna inputs (the noise is active, consisted of sea and motion noise and is represented by isotropic and anisotropic models, respectively).

As a result, it was established that in the considered channel for the output data which corresponds to the performance characteristics of the SS, UV, the energy range is achievable in the radiation and reception modes of the SS and PUV with the power $P_{AK} = 10 kWt$ and $P_{AK} = 1 kWt$ respectively.

In the future work, the development of this direction is envisaged by involving into the methodology the geometric range of interaction under typical refractive conditions and with taking into account the dispersion features of sound propagation in the communication channel.

REFERENCES

- Derepa, A. V., Leiko, A. G. and Melenko U. (2016), "Osnovy voenno-tehnicheskikh issledovani. Teoria i prilozhenia: monografiya: v 8 t. T.8. Kompleksnaia sistema gidroakusticheskoe vooruzhenie – nadvodnii korabl. Problemnii aspekti sistemy gidroakusticheskoi stantsii – nadvodny korabl s antenami peremennoi glubiny" [Fundamentals of military-technical research. Theory and applications: monograph: Vol.8. Integrated system hydroacoustic weapons – combat ship. Problematic aspects of system hydroacoustic station – combat ship with aerials of variable depth.] / pod red. A. V. Derepi. K.: ID Dmitriia Burago, 400 p.
- Lynch, J. F. (2010). Acoustic ducting, reflection, refraction, and dispersion by curved nonlinear internal waves in shallow water // IEEE OES. Vol. 35. No 1. Pp. 12–27.
- Sato, H., Fehler, M.C. and Maeda, T. (2012). Seismic wave propagation and scattering in the heterogeneous earth. Berlin: Springer. 496 p.
- Prostakov, A. L. (1978), "Elektronnii kluch k okeanu" [Electronic key to the ocean], Sudostroenie, L. 32 p.
- Evtutov, A. P. and Kolesnikov, A. E. (1988), "Spravochnik po gidroakustike" [Handbook of hydroacoustics], Sudostroenie, L. 552 p.
- Antoniou, A. (2006). Digital signal processing. Toronto: McGraw-Hill. 965 p.
- Sklyar, B. (2003). Digital communication. Theoretical Bases and Practical Application, 2nd ed. M.: Williams. 1104 p.
- Abarenov, S. P., Arsentyev, V. G. and Krivolapov, G. I. (2014). Frequency and Spatial Parameters Selection of Hydroacoustic Information and Control Networks Based on Generalized Energy Indicators. Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences. Novosibirsk: Fundamentalnaia i prikladnaia gidrofizika. T. 7, № 2. Pp. 27–35.
- Filipov, V.I. (2016), "Energeticheskii raschet linii svyazi. Sistemy kommunikacii i setevie tehnologii" [Energy calculation of the communication line. System of communication and network technologies], Upravlenie, vychislitelnaia tehnika i informacia. Vesn. ANTU, T.3. Pp. 67–77.
- Vershinin, A. S. (2016). Experimental Estimation of the Data Transfer Rate of a Hydroacoustic Modem Model 3. SPIIRAS Proceedings. Iss. 3(46). Pp. 40–48, available at: www.proceedings.spiiras.nw.ru
- <https://frazua.com/analytics/262189-ukrainskij-arsenal-fregat-getman-sagajdachnyj>.
- <https://www.ecagroup.com/en/solutions/a9-m-auv-autonomous-underwater-vehicle>.
- Evtutov, A. and Mitko, V. (1998), "Ingenierne rascheti v gidroakustike" [Engineering calculations in hydroacoustics.], Sudostroenie, L. 240 p.
- Shockii, B. (1985). Proektirovanie gidrolokatorov: monografiya v. 3 ch. Ch. 2. K.: KPI. 84 p.
- Gonorovskii, I. (1986), "Radiotekhnicheskie cepi i signaly: uchebnik dla vusov, 4 isd." [Radio circuits and signals: textbook for universities, 4th ed.], Radio i svyaz, M. 512 p.
- William, A. (2004). Kuperman and Philippe Roux. UNDERWATER ACOUSTICS. Marine Physical laboratory, Scripps Institution of Oceanography University of California, San Diego. https://www.researchgate.net/publication/234472513_Underwater_Acoustics.
- Derepa, A. (2016), "Gidroakusticheskut pomehi i ih vliianie na strukturu postroenia sistemy gidroakusticheskoi stantsii – nadvodny korabl (Ch. 1). Ozbroyeniya ta viiskova tehnika" [Hydroacoustic interference and their influence on the structure of construction of system hydroacoustic station – combat ship. Part 1. Armament and military equipment]. 2(10). Pp. 29–36.
- Urik, R. J. (1978), "Osnovy gidroakustiki" [Fundamentals of hydroacoustics], Sudostroenie, L. 445 p.
- Zimmerman, R. Decreasing the radiated acoustic and vibration noise of a mid-size AU.
- Zimmerman, R. (2005). GL D'Spain. CD Chadwell IEEE J. of Oceanic Engineering Vol. 30 , №1. Pp. 189–197. DOI: 10.1109 / JOE.2004.836996.

Відомості про авторів:**Дідковський Віталій Семенович**

доктор технічних наук
професор
професор кафедри акустики та акустоелектроніки
Національного технічного університету України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0807-822x>
e-mail: v.didkovckyi@gmail.com

Коржик Олексій Володимирович

доктор технічних наук
професор
професор кафедри акустики та акустоелектроніки
Національного технічного університету України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6793-1676>
ORCID 0000-0001-6793-1676
e-mail: avkorzhyk@gmail.com

Найда Сергій Анатолійович

доктор технічних наук
професор
професор кафедри акустики та акустоелектроніки
Національного технічного університету України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5060-2929>
e-mail: naida.s.a@gmail.com

Information about the authors:**Didkovskii Vitalii**

Doctor of Technical Sciences, Professor
Professor of the Chair of Acoustics and Acoustoelectronics of
the National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
polytechnic institute"
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0807-822X>
e-mail: v.didkovckyi@gmail.com

Korzhyk Oleksii

Doctor of Technical Sciences, Professor
Professor of the Chair of Acoustics and Acoustoelectronics of
the National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
polytechnic institute" Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6793-1676>
e-mail: avkorzhyk@gmail.com

Naida Serhii

Doctor of Technical Sciences, Professor
Professor of the Chair of Acoustics and Acoustoelectronics of
the National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv
polytechnic institute"
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5060-2929>
e-mail: naida.s.a@gmail.com

The article was received by the editorial board on
21.11.2019.

УДК 623.546;531.554

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4\(24\).65-70](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4(24).65-70)

А. В. ГУРНОВИЧ, доктор технічних наук,
старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0002-2041-4978>

(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

А. В. КУЧИНСЬКИЙ, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0003-1687-9393>

(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

О. Б. КУЧИНСЬКА

<https://orcid.org/0000-0003-3403-4180>

(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

С. В. ЛАПИЦЬКИЙ, доктор технічних наук,
професор

<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>

(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

О. А. МАЙСТРЕНКО, кандидат технічних наук

<https://orcid.org/0000-0001-9701-7359>

(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

В. Г. ТРОФИМЕНКО

<https://orcid.org/0000-0002-8750-9111>

(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

Методичний підхід до визначення балістичного коефіцієнта куль в полігонних умовах

Розглянуто метод, що дозволяє за допомогою універсальних виразів визначити значення балістичного коефіцієнта кулі за стандартом G7 (закон опору повітря польоту кулі з конусною хвостовою частиною та з довгою оживальною головною частиною з урахуванням її початкової швидкості та зниження траєкторії польоту в інтервалі на відстанях 100...200 м). Метод дозволяє визначити балістичний коефіцієнт кулі без використання спеціалізованої вимірювальної лабораторії, тобто в умовах необладнаного стрільбища. Єдиним метрологічним обладнанням є переносний прилад для вимірювання початкової швидкості кулі.

Залежність формується на основі методу планування експериментів за центральним варіантом плану, що описує область значень точок процесу, що досліджується, так як існування області неіснуючих значень точок не дозволяє застосувати рівномірний варіант плану. Досліджуваний діапазон початкових швидкостей куль ділиться на три піддіапазони для забезпечення включення до області існуючих значень всіх точок центрального варіанту плану.

Зазначений підхід дозволяє на основі визначеного балістичного коефіцієнта розрахувати швидкість кулі на довільній відстані під час випробування броньових перешкод у польових умовах без використання громіздкого обладнання.

Достовірність опису процесу, що досліджується, забезпечується завдяки застосуванню апробованої математичної моделі руху кулі в повітрі як руху твердого тіла на основі системи з чотирьох диференціальних рівнянь першого порядку.

Адекватність виразів емпіричного опису залежності балістичного коефіцієнта від початкової швидкості кулі та зниження траєкторії її польоту в інтервалі 100...200 м перевіряється шляхом визначення середньоквадратичних відхилень значень, отриманих на основі математичної моделі руху кулі і за допомогою багаточлена, та їх порівняння з величиною точності визначення балістичного коефіцієнта (не більше 10^{-3}).

Ключові слова: балістичний коефіцієнт, емпіричний метод, багаточлен II порядку (квадрика), диференціальні рівняння першого порядку.

Рассмотрен метод, который позволяет с помощью универсальных выражений определить значение баллистического коэффициента пули по стандарту G7 (закон сопротивления воздуха полету пули с конусной хвостовой частью и с длинной оживальной главной частью с учетом её начальной скорости и снижения траектории полета в интервале на расстояниях 100...200 м). Метод позволяет определять баллистический коэффициент пули без использования специализированной измерительной лаборатории, то есть в условиях необорудованного стрельбища. Единственным метрологическим оборудованием является переносной прибор для измерения начальной скорости пули.

Зависимость формируется на основе метода планирования экспериментов по центральному варианту плана, который описывает область значений точек исследуемого процесса, так как существование области несуществующих значений точек не позволяет применить равномерный вариант плана. Исследуемый диапазон начальных скоростей пуль делится на три поддиапазона для обеспечения включения в область существующих значений всех точек центрального варианта плана.

Указанный подход позволяет на основе определенного баллистического коэффициента рассчитать скорость пули на произвольном расстоянии во время испытания броневых препятствий в полевых условиях без использования оборудования.

Достоверность описания исследуемого процесса обеспечивается благодаря применению апробированной математической модели движения пули в воздухе как движения твердого тела на основе системы из четырех дифференциальных уравнений первого порядка.

Адекватность выражений эмпирического описания зависимости баллистического коэффициента от начальной скорости пули и снижения траектории ее полета в интервале 100...200 м проверяется путем определения среднеквадратических отклонений значений, полученных на основе математической модели движения пули и с помощью многочлена и их сравнение с величиной точности определения баллистического коэффициента (не больше 10^{-3}).

Ключевые слова: баллистический коэффициент, эмпирический метод, многочлен второго порядка (квадрика), дифференциальные уравнения первого порядка.

ВСТУП

Балістичний коефіцієнт – найбільш важлива зовнішньо-балістична характеристика кулі, яка дозволяє стрілку розраховувати траєкторію й виконувати різні типи аналізу її поведінки на різних дальностях.

Виробники куль зазвичай вказують балістичні коефіцієнти своїх куль на упаковках патронів або на веб-сайтах компаній. Заявлені балістичні коефіцієнти зазвичай є не точними, як результат цього виникають помилки розрахунків дальності стрільби, що призводить до невлучення в ціль.

Основним методом, що застосовується для визначення балістичного коефіцієнту кулі, є фіксація часу, за який куля долає певну відстань, яка може становити 100 метрів і більше, в залежності від типу патронів [1]. Такий підхід вимагає застосування стаціонарної виміральної лабораторії, тобто питання визначення балістичного коефіцієнта кулі в умовах відкритого стрільбища без застосування громіздкого обладнання є доволі актуальним.

Постановка задачі та її рішення. В статті розглядається питання визначення балістичного коефіцієнта кулі із застосуванням тільки мобільного приладу для визначення початкової швидкості кулі, який за відносно не великої ціни є доволі поширеним серед стрільків. Іншим вхідним фактором для визначення балістичного коефіцієнта кулі є падіння траєкторії польоту кулі на відстані 200 метрів при пристрілці зброї на відстань 100 метрів. На основі вищезазначених вхідних даних апроксимується математична залежність балістичного коефіцієнта.

У пошуках універсального виразу для емпіричного опису залежності балістичного коефіцієнта ($G7$) від початкової швидкості кулі (V_0) та зниження траєкторії її польоту (h), необхідно знайти компроміс та визначити просту, але в той же час гнучку форму опису. Такою формою, тобто найбільш зручним на практиці інструментом, є багаточлен II порядку (квадрика):

$$G7 = a_0 + a_1V_0 + a_2h + a_{11}V_0^2 + a_{22}h^2 + a_{12}V_0h, \quad (1)$$

де a_0 – постійна складова, на яку здійснюється вплив факторів V_0, h ;

a_1V_0, a_2h – члени, що описують прямопропорційний (лінійний) вплив на $G7$ змінних V_0, h ;

квадратичні вирази $a_{11}V_0^2$ і $a_{22}h^2$ відображають нелінійність впливу V_0, h на $G7$;

член $a_{12}V_0h$ враховує взаємний (спільний) вплив факторів V_0 та h .

Таким чином стає очевидним, що для опису простою зазначених параметрів залежність знаходиться у вигляді багаточлена II порядку.

Враховуючи те, що досліджувані процеси здійснюються послідовно (неможливо зробити заміри вибірково при будь-якому значенні вхідних параметрів), дослідження проводилися за центральним варіантом плану з фіксацією результатів у максимальній кількості точок (13 точок), що забезпечить максимальну достовірність отриманих результатів за наявних умов [2]. Положення

дослідних точок за центральним варіантом плану наведено на рис. 1.

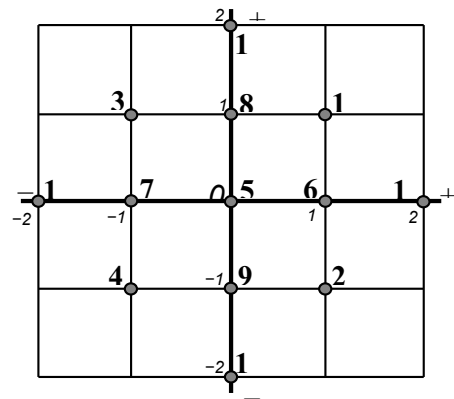


Рис. 1. Положення дослідних точок центрального варіанту плану на 13 точок

З аналізу рис. 1 стає очевидним, що для спрощення розрахунків при дослідженні області даних необхідно провести нормування параметрів.

Нормування здійснюється таким чином. Визначається центр області даних (тобто, коли $V_0=h=0$) за формулами:

$$V_{0(i)} = \frac{V_{0(\max)} + V_{0(\min)}}{2}; h_{(i)} = \frac{h_{(\max)} + h_{(\min)}}{2}. \quad (2)$$

Крок нормування визначається як

$$\Delta V_0 = \frac{V_{0(\max)} - V_{0(\min)}}{4}; \Delta h = \frac{h_{(\max)} - h_{(\min)}}{4}. \quad (3)$$

Відповідно нормувальні формули мають вид:

$$V_{0(i)} = \frac{V_{0(i)} - V_{0(i)}}{\Delta V_0}; h_{(i)} = \frac{h_{(i)} - h_{(i)}}{\Delta h}. \quad (4)$$

Вихідні умови при проведенні досліджень:

для досліджень використовується балістичний коефіцієнт стандартного снаряду G7, так як його форма має витягнуту загострену носову частину та конусоподібну задню частину. Така форма визначає найбільшу подібність її кривої опору повітря до кривої сучасних далекобійних куль [3];

апроксимація залежності балістичного коефіцієнта від падіння траєкторії виконується на 200 метрів по відношенню до дальності 100 м;

для зменшення похибок апроксимації діапазон початкових швидкостей розбивається на піддіапазони: 700...800 м/с, 800...900 м/с, 900...1000 м/с;

найбільше значення падіння траєкторії обирається, виходячи з найменшого балістичного коефіцієнта бойової кулі (куля ПС патрона 7,62×39 мм) [4]. Для неї балістичний коефіцієнт G7 складає 0,147;

найменше значення падіння траєкторії обирається, виходячи з найбільшого балістичного коефіцієнта, який існує. Це куля Berger 300 VLD калібру .338 [5]. Для неї балістичний коефіцієнт G7 складає 0,468;

балістичні умови – нормальні: (температура повітря: $+15^{\circ}\text{C} + 273 (T_{ON})$, тиск повітря 750 мм рт. ст. (h_{ON}), парціальний тиск водяного пару 6,35 мм рт. ст. (e_{ON}), тобто відносна вологість 50%).

Дослідження виконувались на основі використання системи з чотирьох диференційних рівнянь першого порядку, яка описує рух кулі в повітрі як рух твердого тіла [6]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dV}{dx} &= -Cx \times H(y) \times G(v) \\ \frac{d\Theta}{dx} &= -\frac{g}{V} \\ \frac{dH}{dx} &= \Theta \\ \frac{dt}{dx} &= \frac{1}{V} \\ v &= V \times \sqrt{1 + \Theta^2} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

в якому першим рівнянням визначається швидкість кулі на траєкторії польоту (при початкових умовах – початкова швидкість кулі), другим рівнянням визначається кут польоту кулі на траєкторії (при початкових умовах – кут вильоту кулі), третім рівнянням визначається висота траєкторії польоту (при початкових умовах – висота прицілу зі знаком мінус), четверте рівняння визначає час польоту кулі.

Падіння швидкості кулі на траєкторії відбувається під дією сили опору повітря, яка в свою чергу визначається балістичним коефіцієнтом Cx , функцією густини повітря $H(y)$ та функцією швидкості $G(v)$.

Функція густини повітря є відношення густини повітря при стрільбі (Π) до густини повітря нормальних балістичних умов (Π_{ON}):

$$H(y) = \frac{\Pi}{\Pi_{ON}} \quad (6)$$

Загалом вираз для визначення густини повітря має вигляд:

$$\Pi = 13,6 \times \frac{h}{R \times T} \times \left(1 - \frac{3}{8} \times \frac{e}{h}\right), \quad (7)$$

де R – газова стала, яка для повітря складає 29,27.

Функція швидкості $G(v)$ має вигляд:

$$G(v) = \frac{\pi \times \Pi_{ON}}{8000} \times v \times c_x \left(\frac{v}{a}\right), \quad (8)$$

де $c_x \left(\frac{v}{a}\right)$ – функція лобового опору повітря за законом $G7$.

Балістичний коефіцієнт визначається як [5]:

$$Cx = \frac{q}{i \times d^2 \times 7000}, \quad (9)$$

де i – коефіцієнт форми кулі;

d – діаметр кулі, дюйм;

q – вага кулі, грам.

За результатами досліджень сформовано табл. 1 – 3 обробки результатів.

Таблиця 1

Залежність балістичного коефіцієнту $G7$ від початкової швидкості кулі (в діапазоні 700...800 м/с) та зниження траєкторії її польоту

№ досліджу	x_1	x_2	V_0 , м/с	H , см	$G7$
1	1	1	775	24,6	0,101
2	1	-1	775	20,8	0,165
3	-1	1	725	24,6	0,15
4	-1	-1	725	20,8	0,367
5	0	0	750	22,7	0,154
6	1	0	775	22,7	0,123
7	-1	0	725	22,7	0,206
8	0	1	750	24,6	0,12
9	0	-1	750	20,8	0,227
10	2	0	800	22,7	0,103
11	-2	0	700	22,7	0,323
12	0	2	750	26,5	0,1
13	0	-2	750	18,9	0,487

Таблиця 2

Залежність балістичного коефіцієнту $G7$ від початкової швидкості кулі (в діапазоні 800...900 м/с) та зниження траєкторії її польоту

№ досліджу	x_1	x_2	V_0 , м/с	H , см	$G7$
1	1	1	875	16,85	0,139
2	1	-1	875	15,35	0,206
3	-1	1	825	16,85	0,244
4	-1	-1	825	15,35	0,591
5	0	0	850	16,1	0,221
6	1	0	875	16,1	0,135
7	-1	0	825	16,1	0,4
8	0	1	850	16,85	0,176
9	0	-1	850	15,35	0,304
10	2	0	900	16,1	0,152
11	-2	0	800	16,1	0,705
12	0	2	850	17,6	0,147
13	0	-2	850	14,6	0,487

Таблиця 3

Залежність балістичного коефіцієнту $G7$ від початкової швидкості кулі (в діапазоні 900...1000 м/с) та зниження траєкторії її польоту

№ досліджу	x_1	x_2	V_0 , м/с	H , см	$G7$
1	1	1	975	13,5	0,134
2	1	-1	925	12,3	0,201
3	-1	1	925	13,5	0,221
4	-1	-1	925	12,3	0,501
5	0	0	950	12,9	0,208
6	1	0	975	12,9	0,159
7	-1	0	925	12,9	0,302
8	0	1	950	13,5	0,166

9	0	-1	950	12,3	0,284
10	2	0	1000	12,9	0,129
11	-2	0	900	12,9	0,565
12	0	2	950	14,1	0,139
13	0	-2	950	11,7	0,487

Для визначення кожного коефіцієнта апроксимації a_j використовується загальна формула:

$$a_j = \frac{\sum V_{0i} a_i}{c_i}, \quad (10)$$

де V_{0i} – значення початкової швидкості кулі в кожній з 13-ти точок плану;

a_i – вектор-стовпець для відповідного коефіцієнта a_p , що визначається за таблицями [2];

c_i – множник коефіцієнта a_p , що приводиться в тій же таблиці [2].

В результаті досліджень отримано:

залежність балістичного коефіцієнта $G7$ від початкової швидкості кулі (в діапазоні 700...800 м/с) та зниження траєкторії її польоту:

$$G7_{(700...800)} = 0,144 - 0,0553 \cdot \left(\frac{V_0 - 750}{25}\right) - 0,083 \cdot \left(\frac{h - 22,7}{1,9}\right) + 0,01719 \cdot \left(\frac{V_0 - 750}{25}\right)^2 + 0,03666 \cdot \left(\frac{h - 22,7}{1,9}\right)^2 + 0,03825 \cdot \left(\frac{V_0 - 750}{25}\right) \cdot \left(\frac{h - 22,7}{1,9}\right); \quad (11)$$

залежність балістичного коефіцієнта $G7$ від початкової швидкості кулі (в діапазоні 800...900 м/с) та зниження траєкторії її польоту:

$$G7_{(800...900)} = 0,21665 - 0,1329 \cdot \left(\frac{V_0 - 850}{25}\right) - 0,0873 \cdot \left(\frac{h - 16,1}{0,75}\right) + 0,05292 \cdot \left(\frac{V_0 - 850}{25}\right)^2 + 0,02507 \cdot \left(\frac{h - 16,1}{0,75}\right)^2 + 0,07 \cdot \left(\frac{V_0 - 850}{25}\right) \cdot \left(\frac{h - 16,1}{0,75}\right); \quad (12)$$

залежність балістичного коефіцієнта $G7$ від початкової швидкості кулі (в діапазоні 900...1000 м/с) та зниження траєкторії її польоту:

$$G7_{(900...1000)} = 0,19845 - 0,1001 \cdot \left(\frac{V_0 - 950}{25}\right) - 0,0829 \cdot \left(\frac{h - 12,9}{0,6}\right) + 0,03688 \cdot \left(\frac{V_0 - 950}{25}\right)^2 + 0,02856 \cdot \left(\frac{h - 12,9}{0,6}\right)^2 + 0,05325 \cdot \left(\frac{V_0 - 950}{25}\right) \cdot \left(\frac{h - 12,9}{0,6}\right). \quad (13)$$

Адекватність описів перевіряється шляхом визначення величини відхилень σ значень, отриманих на основі математичної моделі та за допомогою багаточленна за формулою:

$$\sigma_{f(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (G7_i - G7(p)_i)^2}{n - (N + 1)}}, \quad (14)$$

де $G7(p)_i$ – результат, отриманий в точці $x_{(1)p}$; $x_{(2)i}$ за допомогою квадрат (11), (12) і (13) при $n=13$, $N=2$. Результати наведено в табл. 4 – 6.

Таблиця 4

Визначення похибки апроксимації балістичного коефіцієнта $G7$ в діапазоні початкової швидкості кулі (700...800 м/с)

№ досліду	$G7_i$	$G7(p)_i$	σ_i
1	0,101	0,098	0,003
2	0,165	0,187	-0,022
3	0,15	0,132	0,018
4	0,367	0,374	-0,007
5	0,154	0,144	0,01
6	0,123	0,106	0,017
7	0,206	0,216	-0,01
8	0,12	0,098	0,022
9	0,227	0,264	-0,037
10	0,103	0,102	0,001
11	0,323	0,323	0
12	0,1	0,124	-0,024
13	0,487	0,456	0,031
$\sigma_{f(x)} = 0,0015$			

Таблиця 5

Визначення похибки апроксимації балістичного коефіцієнта $G7$ в діапазоні початкової швидкості кулі (800...900 м/с)

№ досліду	$G7_i$	$G7(p)_i$	σ_i
1	0,139	0,144	-0,005
2	0,206	0,179	0,027
3	0,244	0,27	-0,026
4	0,591	0,585	0,006
5	0,221	0,217	0,004
6	0,135	0,137	-0,002
7	0,4	0,402	-0,002
8	0,176	0,154	0,022
9	0,304	0,329	-0,025
10	0,152	0,162	-0,01
11	0,705	0,694	0,011
12	0,147	0,142	0,005
13	0,487	0,491	-0,004
$\sigma_{f(x)} = 0,0009$			

Таблиця 6

Визначення похибки апроксимації балістичного коефіцієнту $G7$ в діапазоні початкової швидкості кулі (900...1000 м/с)

№ досліду	$G7_i$	$G7(p)_i$	σ_i
1	0,134	0,134	0
2	0,201	0,193	0,008
3	0,221	0,227	-0,006
4	0,501	0,5	0,001
5	0,208	0,199	0,009
6	0,159	0,145	0,014
7	0,302	0,315	-0,013
8	0,166	0,144	0,022

9	0,284	0,309	-0,025
10	0,129	0,145	-0,016
11	0,565	0,546	0,019
12	0,139	0,146	-0,007
13	0,487	0,478	0,009
$\sigma_{f(x)}=0,00076$			

Висновок. Відповідно до табл. 4 – 6 похибка апроксимації не більше, ніж похибка виміру і є величиною того ж порядку, тобто за допомогою отриманих виразів (11), (12) і (13) досягнута цілком задовільна точність апроксимації.

Таким чином, на основі досліджень отримано залежності, які дозволяють визначати балістичні коефіцієнти куль за умови мінімального використання вимірювального обладнання (тільки для визначення початкової швидкості куль).

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Данилин Г. А., Огородников В. П., Заволокин А. Б. Основы проектирования патронов к стрелковому оружию: учебник. СПб: Балт. гос. тех. ун-т, 2005. 374 с.
2. Рафалес-Ламарка Э. Э., Николаев В. Г. Некоторые методы планирования и математического анализа экспериментов. Киев: Наукова думка, 1971. 119 с.
3. Bryan, Litz. (2011). Applied Ballistics for Long-Range Shooting: Applied Ballistics, LLC. 602 p.
4. Наставление по стрелковому делу. М.: Военное изд-во, 1985. 640 с.
5. McCoy, R. L. (2012). Modern Exterior Ballistics. Atglen, PA: Schiffer Military History. 328 p.
6. Баллистика ствольных систем / Бурлов В. В. и др. М.: Машиностроение, 2006. 461 с.

REFERENCES

1. Danilin, G.A., Ogorodnikov, V.P. and Zavolokin, A.B. (2005), "Osnovy proyektirovaniya patronov k strelkovomu oruzhiyu: uchebnik" [Basics of designing ammunition for small arms: textbook], Balt. St. Techn. Univ., SPb. 374 p.
2. Rafales-Lamarka, E.E. and Nikolaev, V.G. (1971), "Nekotoryye metody planirovaniya i matematicheskogo analiza eksperimentov" [Some methods of planning and mathematical analysis of experiments], Naukova Dumka, K. 119 p.
3. Bryan, Litz. (2011). Applied Ballistics for Long-Range Shooting: Applied Ballistics, LLC, 602 p.
4. "Nastavleniye po strelkovomu delu" [Instruction on the shooting case], Military Publ., M., 1985. 640 p.
5. McCoy, R. L. (2012). Modern Exterior Ballistics. Atglen, PA: Schiffer Military History. 328 p.
6. Burlov V. 'V. and etc. (2006), "Ballistika stvol'nykh system" [Ballistics of barrel systems], Mechanical Engineering, M. 461 p.

Відомості про авторів:

Гурнович Анатолій Вікторович

доктор технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку озброєння та військової техніки Сил спеціальних операцій науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2041-4978>
e-mail: gurnovav@gmail.com

Кучинський Андрій Володимирович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник науково-організаційного відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2424-3026>
e-mail: 10fa@ukr.net

Кучинська Оксана Борисівна

молодший науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку озброєння та військової техніки Сил спеціальних операцій науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3403-4180>
e-mail: 10fa@ukr.net

Лапицький Сергій Володимирович

доктор технічних наук, професор
головний науковий співробітник
групи ГНС – керівник наукових програм
Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
Заслужений діяч науки і техніки України
м. Київ Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>
e-mail: s.Lapytski@gmail.com

Майстренко Олександр Анатолійович

провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку ракетного та артилерійського озброєння та військової техніки науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9701-7359>
e-mail: alexia_g@ukr.net

Трофименко Володимир Григорович

науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку озброєння та військової техніки Сил спеціальних операцій науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8750-9111>
e-mail: v_trofymenko@ukr.net

Information about the authors:**Anatolii Hurnovych**

Doctor of Technical Sciences

Senior Researcher

Leading researcher of the Scientific Research department of the development of Armament and Military Equipment of Special Operations Forces of the Scientific Research management of the development of Armament and Military Equipment of Land Forces of

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-2041-4978>

e-mail: gurnovav@gmail.com

Andriy Kuchynsky

Candidate of Technical Sciences

Senior Researcher

Leading researcher of scientific and organizational department of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-2424-3026>

e-mail: 10fa@ukr.net

Oksana Kuchynska

Junior Researcher of the Scientific Research department of the development of Armament and Military Equipment of Special Operations Forces of the Scientific Research management of the development of Armament and Military Equipment of Land Forces of

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-3403-4180>

e-mail: 10fa@ukr.net

Sergiy Lapitsky

Doctor of Technical Sciences, Professor

General Researcher

of Central research institute of weapons and military equipment of the Armed Forces of Ukraine

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>

e-mail: s.Lapytski@gmail.com

Oleksandr Maistrenko

Candidate of Technical Sciences

Leading Researcher of the Scientific Research department of the development of rocket and artillery Armament and Military Equipment of the Scientific Research management of the development of Armament and Military Equipment of Land Forces of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine

Candidate of Technical Sciences

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-9701-7359>

e-mail: alexia_g@ukr.net

Volodymir Trofymenko

Research Associate of the Scientific Research department of the development of Armament and Military Equipment of Special Operations Forces of the Scientific Research management of the development of Armament and Military Equipment of Land Forces of

Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-8750-9111>

e-mail: v_trofymenko@ukr.net

Стаття надійшла до редколегії 28.10.2019 р.

УДК 623.4.054:681.518

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4\(24\).71-77](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4(24).71-77)**В. М. СЕНАТОРОВ,***кандидат технічних наук, доцент*<https://orcid.org/0000-0001-5387-5693>*(Центральний науково-дослідний інститут**озброєння та військової техніки**Збройних Сил України, м. Київ)***М. В. СЕНАТОРОВ,** *кандидат технічних наук**(ТОВ «ЮА.РПА», м. Київ)*

Застосування нашоломної системи індикації у сухопутних військах

Розглянуті проблеми, що виникають при проектуванні нашоломних систем індикації, призначених для Сухопутних військ: сприйняття оператором транспортного засобу колімованого зображення в замкнутому просторі; раціональний вибір формувача зображення; методики розрахунку обраної оптичної схеми; компоновка індикатора на захисному шоломі/голові оператора. Перспективна НСІ повинна проектуватись окремо для кожного типу захисного шолому, аби врахувати особливості його експлуатації. В процесі проектування доцільно орієнтуватись на OLED дисплеї стандартного формату. Сприйняття колімованого зображення в замкнутому просторі повинно перевіритись експериментально. Також доцільно провести дослідження впливу зовнішніх факторів на голографічний оптичний елемент на основі біхромату желатину.

Ключові слова: нашоломна система індикації, колімоване зображення, формувач зображення, оптична схема, захисний шолом

Рассмотрены проблемы, возникающие при проектировании нашлемных систем индикации, предназначенных для Сухопутных войск: восприятие оператором транспортного средства коллимированного изображения в замкнутом пространстве; рациональный выбор формирователя изображения; методики расчета выбранной оптической схемы; компоновка индикатора на защитном шлеме/голове оператора. Перспективная нашлемная система индикации должна проектироваться отдельно для каждого типа защитного шлема, дабы учесть особенности его эксплуатации. В процессе проектирования целесообразно ориентироваться на OLED дисплеи стандартного формата. Восприятие коллимированного изображения в замкнутом пространстве должно проверяться экспериментально. Также целесообразно провести исследования влияния внешних факторов на голографический оптический элемент на основе бихромата желатина.

Ключевые слова: нашлемная система индикации, коллимированное изображение, формирователь изображения, оптическая схема, защитный шлем

Як показали останні міжнародні виставки озброєння та військової техніки, нашоломна система індикації (НСІ), яка була застосована вперше в авіації [1], знаходить широке застосування і у Сухопутних військах (рис. 1-3, робоче місце командира транспортного засобу, оператора дистанційно керованого агрегату, спорядження стрілка і таке інше). Переваги такої системи перед бортовим індикатором полягають в тому, що при комплексуванні з системою позиціонування захисного шолома, інформація буде відповідати реальному напрямку спостереження в заданих координатах і зберігатися перед очима оператора при будь-якому довільному положенні голови. Окрім того, вивільнюється місце на приладній дошці транспортного засобу, оскільки виключається ряд бортових дисплеїв, функцію яких виконуватиме НСІ.

Нашоломна система індикації відноситься до особливого класу систем відображення інформації індивідуального користування. Це пояснюється, в основному, задачами, що вирішуються за її допомогою, та ергономічними вимогами, пов'язаними з її розміщенням на захисному шоломі/голові оператора. Основні задачі НСІ – відображати в полі зору оператора растрову відеоінформацію від оглядових телевізійних/тепловізійних систем для пошуку, виявлення та розпізнавання цілей, а також символічну/графічну інформацію про стан систем транспортного засобу, прицільні мітки і таке інше. Елементи конструкції НСІ не повинні обмежувати оператора огляд оточуючого простору (в т.ч. приладної панелі в разі застосування всередині транспортного засобу) і забезпечувати безпеку експлуатації. Поле зору індикатора доцільно обмежувати зоною чіткого бачення людського ока, тобто $30...35^\circ$ [2].

Проблематика конструювання нашоломної системи індикації пов'язана із:

- сприйняттю оператором транспортного засобу колімованого зображення;
- вибором формувача зображення;
- габаритним і абераційним розрахунками обраної оптичної схеми;
- компоновкою індикатора на захисному шоломі/голові оператора.

Сприйняття оператором транспортного засобу колімованого зображення

Якщо льотчик знаходиться у відкритому просторі, більшість часу спостерігаючи простір цілей і лише інколи звертаючи увагу на приладну дошку (необхідна інформація про стан систем носія відображається на дисплеях), то індикатор має бути колімованого типу [2]. На відміну від цього оператор транспортного засобу знаходиться у замкнутому просторі, тому сприйняття ним колімованого зображення має бути досліджене окремо.

Глибина чіткого бачення ока людини без акомодатії залежить від діаметра зіниці $D_{\text{зін}}$. Зокрема, при яскравості всередині транспортного засобу не менше 135 кд/м^2 $D_{\text{зін}} = 4 \text{ мм}$ [3]. При цьому положення передньої $P_{\text{пер}}$ і

задньої $P_{зад}$ межі чітко спостережуваного простору визначається залежностями [4]:



Рис. 1. Нашоломний індикатор Iron Vision (Ізраїль)



Рис. 2. Нашоломний індикатор Battle View 360 (Швеція)



Рис. 3. Бойовий шолом з окулярами змішаної реальності Hololens 2 (США)

$$P_{пер} = D_{зін} f' P_{нав} / (D_{зін} f' + P_{нав} d_{дон}), \quad (1)$$

$$P_{зад} = D_{зін} f' P_{нав} / (D_{зін} f' - P_{нав} d_{дон}), \quad (2)$$

де: $P_{нав}$ – віддалення площини, на яку акомодоване око, $f' = 22,8$ мм – усереднене значення фокусної відстані ока людини, а $d_{дон}$ – припустимий кружок нерізкості на сітківці: $d_{дон} \approx 0,006$ мм [2].

При колімації $P_{зад} \rightarrow \infty$ і підстановка цього значення в (2) при $D_{зін} = 4$ мм дає результат $P_{нав} = 15,2$ м, а підстановка останнього значення в (1) визначає $P_{пер} = 7,6$ м. Це означає, що оператор транспортного засобу не може одночасно чітко (без переакомодації) бачити колімоване зображення, що сформоване індикатором, та обстановку всередині транспортного засобу, в т.ч. зображення на дисплеях. Звідси також витікає, що індикатор повинен мати в своєму складі сумуючий оптичний елемент (наприклад, напівпрозоре дзеркало), аби оператор мав

змогу бачити одним оком колімоване зображення, сформоване індикатором, або обома очима обстановку всередині транспортного засобу при акомодатії на кінцеву відстань.

При відображенні інформації, сформованої на індикаторі на кінцевій відстані, $P_{пер}$ має бути не менше відстані найкращого зору людини, тобто $P_{пер} > 250$ мм. Підстановка цього значення в (1) при $D_{зін} = 4$ мм дає результат $P_{нав} = 254$ мм, а підстановка останнього значення в (2) визначає $P_{зад} = 258$ мм. Це означає, що оператор транспортного засобу не може одночасно чітко (без переакомодації) бачити зображення, сформоване індикатором на відстані найкращого зору, та обстановку всередині транспортного засобу.

При відображенні інформації, сформованої на індикаторі, на проміжну відстань, при якій оператор чітко бачить приладну дошку, $P_{нав} \approx 1000$ мм. Підстановка цього значення в (1) і (2) визначає межі чіткого спостереження $P_{пер} = 0,94$ м, $P_{зад} = 1,07$ м. Тобто глибина чіткого бачення оператора становить лише 130 мм. Це означає, що оператор транспортного засобу може одночасно чітко (без переакомодації) бачити зображення, сформоване індикатором і приладну дошку, але не може бачити без переакомодації обстановку всередині транспортного засобу, віддалену на відстань більше 1,07 м.

На думку авторів, проблему сприйняття колімованого зображення всередині транспортного засобу можна вирішити лише натурним експериментом із залученням досвідчених операторів різних класів транспортних засобів.

Вибір формувача зображення

До кінця минулого століття єдиним можливим формувачем зображення для НСІ були мініатюрні монохромні електронно-променеві трубки (ЕПТ, діаметр 11-22 мм, довжина 75-110 мм). Однак ЕПТ мали ряд суттєвих недоліків, які стримували розвиток НСІ. Окрім великих габаритів і маси для них характерне велике енергоспоживання і, відповідно, велике виділення тепла; також необхідно підводити до захисного шолома високу напругу (8-13 кВ), що створювало небезпеку для оператора. Велика довжина формувача змушувала ускладнювати оптичну схему для раціональної компоновки індикатора на захисному шоломі [5].

В 90-ті роки минулого століття з'явилися серійні технології, що дозволили створювати плоскі мініатюрні дисплеї, які не мали недоліків, що властиві ЕПТ. Найбільш прийнятними кандидатами на заміну ЕПТ в НСІ вважались рідкокристалічні (LCD), електролюмінісцентні і плазмові дисплеї (PDP). Свого часу за кордоном були створені монохромні жовті електролюмінісцентні дисплеї на активних матрицях з діагоналлю 12 мм, рідкокристалічні індикатори з діагоналлю понад 25 мм, а також монохромні зелені дисплеї на основі органічних світловипромінюючих діодів (OLED). Найбільшого успіху досягла японська фірма JVC, рідкокристалічна матриця 8K4K D-ILA якої має розмір пікселя 4,8 мкм і діагональ 44,6 мм [6]. В той же час з'явилися і НСІ на базі рідкокристалічних панелей. Для рідкокристалічних індикаторів основною

проблемою в той час було створення підсвічування з високою яскравістю до 6000 кд/м^2 , терміном служби понад 30000 год., високим контрастом і забезпеченням роботи при низьких температурах.

З цієї точки зору безумовну перевагу мають дисплеї на базі органічних світловипромінюючих діодів [7]. До їхніх переваг над рідиннокристалічними слід віднести: відсутність необхідності підсвічування, завдяки чому вони мають меншу товщину; великі кути випромінювання, що дозволяє використовувати світлосильний об'єктив; відсутність інерційності; висока контрастність; висока яскравість (понад 10^5 кд/м^2); широкий температурний діапазон експлуатації ($-40 \dots 70^\circ\text{C}$).

Очікується, що на заміну OLED дисплеїв прийдуть в найближчий час TMOS дисплеї (Time-Multiplexed Optical Shutter – з оптичним затвором часового мультиплексування) [8]. Ця технологія використовує інерційність сітківки людського ока. Також ведуться розробки TFT дисплеїв (Thin-Film Transistor), що працюють за технологією органічних тонкоплівкових транзисторів [9]. За оцінками фахівців це приведе до зниження вартості формувачів зображення [8, 9].

Як витікає з цього короткого аналізу формувачів зображення, кожний з типів дисплеїв має свої переваги і недоліки. Тому при виборі дисплея для НСІ необхідно враховувати вимоги до системи індикації. На наш погляд, для НСІ найбільш прийнятні OLED дисплеї стандартного формату 3 : 4, виробництво яких може налагодити ІФН ім. В.Є. Лощкарьова, враховуючи досвід розробки електролюмінісцентних індикаторів.

Розрахунки оптичної схеми

Оптична схема НСІ може будуватись на базі рефракторної, рефлекторної або голографічної оптики. Принциповим моментом при проектуванні оптичної схеми НСІ є відстань l_1 від ока до найближчої оптичної деталі індикатора. Враховуючи можливість використання оператором протигазу, ця відстань має бути не менша, ніж 20 мм (саме таке значення відстані вихідної знімки в танкових прицілах). Друге обмеження пов'язане з полем зору індикатора. Як було відмічено вище, воно не має перевищувати $2\beta \leq 35^\circ$ (28° горизонтальна складова $2\beta_x$ і 21° вертикальна складова $2\beta_y$ поля зору при стандартному форматі формувача зображення).

Рефракторна оптична схема індикатору

Рефракторна оптична схема НСІ (рис. 4) будується на базі лінзового об'єктива 1, в фокальній площині якого розміщено формувач зображення 2 [10]. Для суміщення зображення, створеного формувачем 2, з оточуючим простором використовується напівпрозоре дзеркало 3, яке утворює з лінією візування кут 45° . Для зручності компоновки елементів НСІ на шоломі/голові оператора в оптичну систему може бути введено додаткове дзеркало 4 (на рис. 4 умовно повернуто разом із формувачем зображення на 90° навколо вертикальної оптичної осі).

Для того, щоб растрове зображення, сформоване оптичною схемою, відповідало реальним об'єктам навколишнього середовища, об'єктив 1 повинен задовольняти критерію якості C_D Д.С. Волосова [11]:

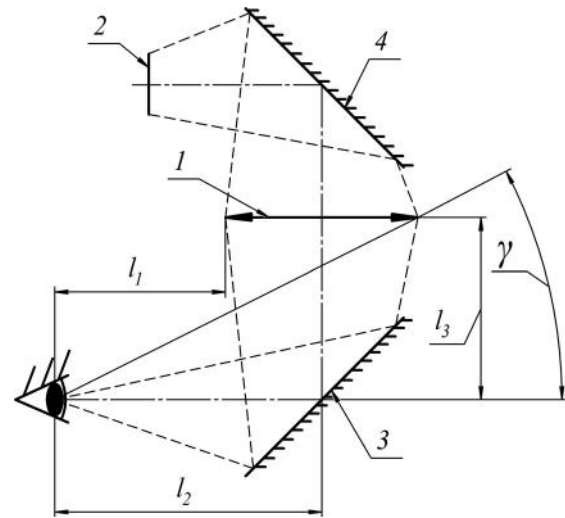


Рис. 4. Рефракторна оптична схема НСІ: 1 – об'єктив, 2 – формувач зображення, 3 – напівпрозоре дзеркало, 4 – додаткове дзеркало

$$C_D = 0,24 \pm 0,02 \geq 0,1 A f'^{1/2} \operatorname{tg} \beta, \quad (3)$$

де: A – відносний отвір об'єктива;

f' – фокусна відстань об'єктива.

Для мінімізації габаритів НСІ в ній використовується світлосильний об'єктив 1 з відносним отвором 1:1, тобто $f' \approx D$, де D – діаметр вихідної знімки об'єктива.

Підставляючи в формулу (3) усі відомі значення, знаходимо $f' \geq 58$ мм. Габарити прямокутного перерізу об'єктива 1 не мають перевищувати $44,6 \times 34,8$ мм. Габарити робочої площадки формувача зображення 2 при цьому становлять $29,3 \times 22$ мм. При розмірі пікселя $4,8$ мкм роздільна здатність індикатора становить $0,08$ мрад ($17''$).

При таких габаритах об'єктива мінімальна відстань l_2^{\min} від ока оператора до оптичної осі об'єктива згідно рис. 4 становить $37,4$ мм. Максимальне віддалення l_3^{\max} об'єктива від напівпрозорого дзеркала визначається залежністю:

$$l_3^{\max} = (D_e - D_{\text{зін}}) / 2 \operatorname{tg} \beta_e - l_2^{\min},$$

де $D_e = 34,8$ мм – вертикальна складова прямокутного перерізу об'єктива і становить $45,7$ мм.

Кут γ , при якому конструкція індикатора не затінює оточуючий простір, визначається залежністю:

$$\operatorname{tg} \gamma = l_3^{\max} / (l_2^{\min} + D_e / 2)$$

і становить 40° , що близько до можливостей людського ока спостерігати оточуючий простір у верхній напівсфері.

Мінімальне віддалення l_3^{\min} об'єктива від напівпрозорого дзеркала визначається залежністю:

$$l_3^{\min} \approx (l_2^{\min} \operatorname{tg} \beta_e + D_{\text{зін}} / 2) / (1 - \operatorname{tg} \beta_e)$$

і становить 11 мм. При цьому вертикальна складова прямокутного перерізу об'єктива D'_e визначається залежністю:

$$D'_e = [D_{\text{зін}} + 2(l_1 + l_3^{\text{мін}}) \text{tg}\beta_e] / (1 - \text{tg}\beta_e)$$

і становить 19 мм, тобто діаметр вихідної зіниці об'єктиву D' сягає лише 31,7 мм. Габарити робочої площини формувача зображення 2 при цьому становлять 16,8 x 12,2 мм. При розмірі пікселя 4,8 мкм роздільна здатність індикатора становить 0,15 мрад (31").

Конструкція знаходиться поза межами поля зору індикатора, а затінення оточуючого простору починається з кута β_e .

Таким чином, обираючи параметр l_3 в діапазоні 11...45,7 мм в залежності від конструкції шолому, до якого кріпиться індикатор, конструктор має усі параметри оптичної схеми, необхідні для габаритного розрахунку.

Рефлекторна оптична схема індикатора

Рефлекторна схема НСІ (рис. 5) будується на базі напівпрозорого дзеркала 1 і дзеркального об'єктиву 2, в фокальній площині якого за допомогою проєкційного об'єктиву 3 створюється проміжне зображення формувача 4 [10]. Тобто, по суті це схема мікроскопу, роль окуляра в якому виконує дзеркальний об'єктив 2. Вихідною зіницею в цій схемі є зображення апертурної діафрагми проєкційного об'єктиву 3 в дзеркалі 2.

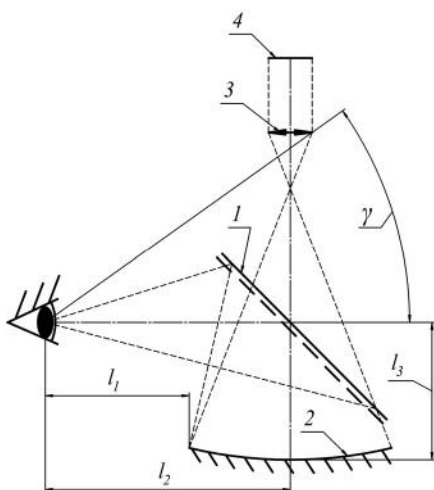


Рис. 5. Рефлекторна оптична схемі НСІ: 1 – напівпрозоре дзеркало, 2 – дзеркальний об'єктив, 3 – проєкційний об'єктив, 4 – формувач зображення

Для мінімізації польових аберацій дзеркального об'єктиву 2 вихідна зіниця індикатора повинна співпадати з центром кривизни дзеркала 2.

При 20-ти мм обмеженні відстані від ока до найближчої оптичної деталі (дзеркального об'єктиву 2) габаритні розміри оптичної схеми становлять: $l_2 = 30$ мм, $l_3 = 13,4$ мм. Фокусна відстань $f'_{\text{оз}}$ дзеркального об'єктиву 2 визначається за формулою

$$f'_{\text{оз}} = (l_2 + l_3)/2$$

і становить 21,7 мм.

Габарити прямокутного перерізу об'єктиву 2 не мають перевищувати 25,5 x 19,1 мм.

Кут γ , при якому конструкція індикатора не затінює оточуючий простір, становить $\approx 45^\circ$, що близько до

можливостей людського ока спостерігати оточуючий простір у верхній напівсфері.

Для спрощення конструкції індикатора і зменшення її впливу на умови спостереження оточуючого простору напівпрозоре дзеркало 1 і дзеркальний об'єктив 2 мають бути виконані у вигляді оптичного моноблоку.

Суттєвим недоліком розглянутої схеми є низьке світлопропускання в каналі формування растрової інформації (до 20%). Якщо це не суттєво при використанні НСІ всередині транспортного засобу, то при роботі на відкритій місцевості в сонячний день це може завадити сприйняттю інформації. Тому ряд провідних фірм перейшли на децентровані оптичні схеми побудови НСІ. На наш погляд, найбільш вдалим є оптичні схеми [12, 13], що описані в патентах США.

В першій з них (рис. 6) формувач зображення 1 знаходиться у фокальній площині позаосьової оптичної схеми, що містить лінзові компоненти 2 та напівпрозорий концентричний або телескопічний меніск 3. При малій товщині меніску 3 така його форма практично не впливає на якість сприйняття оточуючого простору. При використанні монохромного формувача зображення 1 на меніск 3 замість нейтрального покриття наноситься інтерференційне покриття типу $\{(90\text{ИЭх}3)(4\text{ИЭх}3)\} \times 9$; $(90\text{ИЭх}3)(4\text{ИЭх}1,5)$, максимум відбиття якого співпадає з максимумом випромінювання формувача 1.

В другій схемі (рис. 7) формувач зображення 1 знаходиться у фокальній площині позаосьової оптичної схеми, що містить лінзові компоненти 2 та складну оптичну деталь, яка склеєна з двох призматичних елементів 3 і 4.

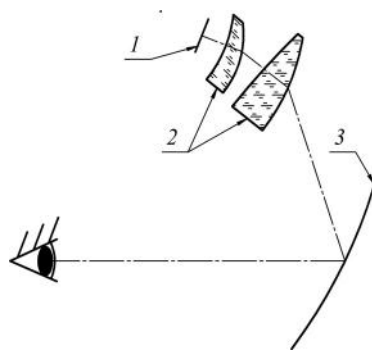


Рис. 6. Варіант побудови оптичної схеми НСІ: 1 – формувач зображення 2, – лінзовий компонент об'єктиву, 3 – напівпрозорий меніск

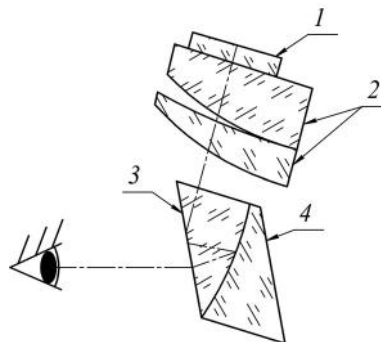


Рис. 7. Варіант побудови оптичної схеми НСІ: 1 – формувач зображення, 2 – лінзовий компонент об'єктиву, 3, 4 – призматичні оптичні елементи

В другій схемі (рис. 7) формувач зображення 1 знаходиться у фокальній площині позаосьової оптичної схеми, що містить лінзові компоненти 2 та складну оптичну деталь, яка склеєна з двох призматичних елементів 3 і 4.

Елемент 3 обмежений вхідною дифракційною поверхнею для корекції астигматизму і хроматизму зображення при використанні кольорового формувача зображення 1, плоскою поверхнею і асферичною тороїдною поверхнею з нейтральним світлоподільником типу 44P.43P.44P.43P. Елемент 4 обмежений асферичною тороїдною поверхнею і плоскою поверхнею, яка паралельна плоскій поверхні елементу 3. Разом елементи 3 і 4 складають плоско-паралельну пластину, що не впливає на якість сприйняття оточуючого простору. Конструктивною особливістю схеми є те, що після проходження вхідної дифракційної поверхні на елементі 3 відбувається повне внутрішнє відбиття світла від плоскої поверхні до тороїдної.

Голографічна оптична схема індикатору

Дія голографічного оптичного елемента (ГОЕ) основана на явищі дифракції на інтерференційній структурі, сформованій двома когерентними пучками променів. Якщо ми маємо рівняння двох світлових хвиль в експоненційній формі: об'єктові $O = E_o e^{i(\phi_o)}$ і опорної $R = E_r e^{i(\phi_r)}$, де i – інтенсивність, E – амплітуда, ϕ – фаза, то розподіл інтенсивності I в інтерференційній картині, записаний в світлореєструючому середовищі як сума цих світлових хвиль, виражається формулою

$$I = E_o^2 + E_r^2 + E_o E_r e^{i(\phi_o - \phi_r)} + E_o E_r e^{-i(\phi_o - \phi_r)}. \quad (4)$$

Перші два члени рівняння (4) характеризують постійну складову інтенсивності. Третій та четвертий члени рівняння містять інформацію про фазу об'єктові хвилі.

При експонуванні світлореєструючого середовища протягом часу t – розподіл світлопропускання в ньому T описується рівнянням

$$T = T_o - \beta I t, \quad (5)$$

де: T_o – початкове світлопропускання середовища, а β – постійна світлочутливість середовища.

Підставляючи (4) в (5), отримуємо наступний вираз для розподілу світлопропускання

$$T = T_o - \beta t (E_o^2 + E_r^2) - \beta t E_o E_r [e^{i(\phi_o - \phi_r)} + e^{-i(\phi_o - \phi_r)}]. \quad (6)$$

Оптична деталь з таким розподілом світлопропускання зветься ГОЕ. Для відновлення об'єктові хвилі деталь необхідно освітити світловим пучком променів, подібним або близьким за формою до опорної хвилі. Таке відновлення можна описати рівнянням

$$E_R = E_r e^{i \phi_R} T. \quad (7)$$

Застосований символ R замість r означає, що відновлюючий пучок не повинен строго відповідати опорному

пучку, який був використаний при запису голограми. Підставивши рівняння (6) в (7), отримуємо:

$$E_R = E_r e^{i \phi_R} T_o - E_r e^{i \phi_R} \beta t (E_o^2 + E_r^2) - E_r e^{i \phi_R} \beta t E_o E_r [e^{i(\phi_o - \phi_r)} + e^{-i(\phi_o - \phi_r)}]. \quad (8)$$

Перша складова рівняння (8) описує хвилю, що розповсюджується в напрямку опорної хвилі. Друга складова являє віртуальну об'єктову хвилю. Якщо фази опорної і відновлюючої хвиль рівні, то друга складова буде ідентична об'єктові хвилі за винятком амплітуди. У підсумку ми отримуємо повністю відновлену об'єктову хвилю. Третя складова описує реальну об'єктову хвилю.

З рівняння (8) видно, що фаза ϕ_o позитивна у реальній об'єктові хвилі і негативна у віртуальній. Це означає, що ці дві хвилі лежать по різні боки голограми. Реальне зображення може створюватись хвилями, що йдуть у позитивному напрямку. Цей напрямок співпадає з напрямком опорного пучка.

На цьому ефекті і будуються усі ГОЕ: лінзи, дзеркала [14]. Основним реєструючим середовищем є біхромат желатину, у якого високі показники модуляції. Конструктивною особливістю ГОЕ є те, що їхня дія описується законами фізичної оптики, а не геометричної. Наприклад, якщо опорна хвиля сферична, а об'єктові – плоска, то при відновленні сферичною хвилею формується плоска, що еквівалентно дії лінзи або дзеркала, а напрямок її розповсюдження визначається схемою запису ГОЕ. Специфіка роботи ГОЕ передбачає використання яркісного формувача зображення з квазімонохроматичним спектром світіння (ширина спектру на рівні сигналу 0,5 не повинна перевищувати 10 нм).

Методи розрахунку оптичних схем на базі ГОЕ наведені в роботі [15]. На рис. 8 зображена принципова оптична схема голографічної НСІ.

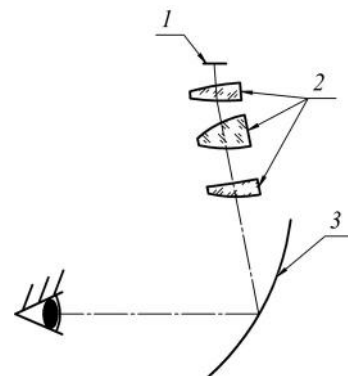


Рис. 8. Голографічна оптична схема НСІ: 1 – формувач зображення, 2 – лінзові компоненти проекційного об'єктиву, 3 – голографічне відбиваюче дзеркало

Особливістю цієї схеми є те, що проекційний об'єктив створює проміжне зображення, створене формувачем 1, в фокальній поверхні відбиваючого ГОЕ 3. Тому вихідною зніцею в цій схемі є зображення апертурної діафрагми проекційного об'єктиву, створене ГОЕ 3.

Як видно з рис. 8, ця схема близька за компоновкою до схеми, зображеної на рис. 6. Відмінності лише в принципі формування зображення та конструктивному виконанні елементу 3.

Досвід одного з авторів, набутий при створенні бортових голографічних пілотажно-прицільних індикаторів [16] показує, що застосування ГОЕ дає певні переваги при компоновці, але веде до ряду технологічних проблем. Біхромат желатину є органічною речовиною, яка зазнає впливу вологи. Тому ГОЕ має бути захищеним захисним склом. Вплив ядерного вибуху на біхромат желатину не досліджений. В полі зору оператора можуть з'являтися паразитні зображення при попаданні на голограму яскравого світла, що містить складову спектра формувача зображення. Тому автори є прихильниками використання інтерференційного дзеркала замість ГОЕ, жертвуючи кольором зображення. Принципова оптична схема такого НСІ ідентична схемі на рис. 8. Наприклад, інтерференційне покриття $\{(90\text{И}\times 3)(41\text{И}\times 3)\times 9\}$ $(90\text{И}\times 3)(41\text{И}\times 1,5)$ має нульову групу міцності.

Компоновка індикатора на захисному шоломі/голові оператора

При компоновці індикатора на захисному шоломі/голові оператора необхідно враховувати наступне:

- індикатор повинен мінімально зміщувати центр тяжіння шолому;
- маса і габарити індикатора повинні бути мінімальними (сучасні НСІ мають масу приблизно 1,5 кг);
- індикатор не повинен обмежувати свободу рухів оператора;
- можливість застосування оператором протигазу, навушників;
- індикатор повинен мінімально обмежувати поле зору оператора;
- безпеку оператора в разі аварії транспортного засобу;
- індикатор повинен мати засоби для індивідуальної підгонки на шоломі в залежності від бази очей людини.

ВИСНОВОК

Перспективні НСІ повинні проектуватись окремо для кожного типу захисного шолому, аби врахувати особливості його експлуатації.

В процесі проектування доцільно орієнтуватись на OLED дисплеї стандартного формату.

Сприйняття колімованого зображення в замкненому просторі повинно перевіритись експериментально. Оцінку можна провести із застосуванням захисного шолому з коліматорним візором системи цілевказування «Сура» (розробник КП СПБ «Арсенал»).

Також доцільно провести дослідження впливу зовнішніх факторів на голографічний оптичний елемент на основі біхромату желатину. Дослідження можуть провести Інститут фізики та Інститут ядерних досліджень НАНУ.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Кучерявый А. А. Бортовые информационные системы. Курс лекций / под ред. В. А. Мишина и Г. И. Ключева. Ульяновск: УлГТУ, 2004. 504 с.
2. Луизов А. В. Глаз и свет. Л.: Энергоатомиздат, 1983. 140 с.
3. Гигиена труда в танковых и мотострелковых частях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://studopedia.ru/1_56763_gigiena_truda_v_tankovih_i_motostrelkovih_chastyah.html. Дата обращения 09.09.2019.
4. Кулагин С. В., Апарин Е. М. Проектирование фото- и кино-приборов. М.: Машиностроение, 1986. 280 с.
5. Сенаторов В. Н., Борисюк А. А., Четырин С. П. Решение задачи скрытого прицеливания стрелкового оружия с помощью телевизионного прицела // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Межд. науч.-техн. журн. Киев: КБ АВ. 2007. № 1(22)/2007. С. 9–12.
6. JVC Develops 1.75 inch 8K4K D-ILA Device. [Электронный ресурс]. – Режим доступа www.jvc-victor.co.jp. Дата звернення 17.10.2019.
7. Как это работает. OLED-дисплей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://hi-news.ru/Темы/Это интересно>. Дата звернення 17.10.2019.
8. TMOS-дисплеи составят конкуренцию OLED и ЖК в 2010 году. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://3dnews.ru/581518>. Дата звернення 17.10.2019.
9. Что такое LCD TFT дисплей. Современные технологии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа www.techno-guide.ru/informatsionnye-tekhnologii/displei/osobennosti-lcd-tft-tekhnologii-displeev.html. Дата обращения 17.10.2019.
10. Бородин В. Т., Рыльский Г. И. Пилотажные комплексы и системы управления самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1978. 215 с.
11. Волосов Д. С. Фотографическая оптика. М.: Искусство, 1971. 670 с.
12. Headgear display system using off-axis image sources: пат. 5576887, США. МПК G02B 27/0172; опубл. 19.11.1996 р.
13. High brightness see-through head-mounted display: пат. 6147807, США. МПК G02B 27/14; опубл. 14.11.2000 р.
14. Новые тенденции в развитии систем отображения информации и управления боевых самолетов (обзор по материалам иностранной печати) / под общ. ред. Федосова Е. А. М.: Научно-информационный центр, 1984. 62 с.
15. Ган М. А. Теория и методы расчета оптических систем с голографическими оптическими элементами: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: ГОИ им. С. И. Вавилова. 1992. 32 с.
16. Сенаторов В. Н., Полежаев В. В. Авиационные стрелковые прицелы и пилотажно-прицельные индикаторы // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Межд. науч.-техн. журн. Киев: КБ АВ. 2008. № 1(26)/2008. С. 30–34.

REFERENCES

1. *Kucheryavyi, A. A.* (2004), "Bortovyye informatsionnye sistemy" [Onboard information systems] Pod red. V. A. Mishina and G. I. Klyueva. 2-e izd. pererab. i dop. UIGTU, Ul'yanovsk, 504 p.
2. *Luizov, A. V.* "Glaz i svet" [Eye and light], Energoatomizdat, L., 1983. 140 p.
3. "Gigiena truda v tankovih i motostrelkovih chastyah" [Occupational hygiene in tank and infantry units], available at: http://studopedia.ru/1_56763_gigiena_truda_v_tankovih_i_motostrelkovih_chastyah.html. Data zvernennya 09.09.2019.
4. *Kulagin, S. V. and Aparin, E. M.* "Proektirovaniye foto- i kino- priborov" [Designing of photo- and film instrumentation], Mashinostroyeniye, M. 1986. 280 p.
5. *Senatorov, V. N., Borisyuk, A. A. and Chetyrin, S. P.* "Resheniye zadachi skrytogo protselivaniya strelkovogo oruzhiya s pomoshch'yu televizionnogo pritsela" [Solution of covert aiming task using TV sight], Artilleriyskoye i strelkovoye vooruzheniye: Mezhd. nauch.-tehn. zhurnal. K.: KB AV. 2007. № 1(22)/2007. Pp. 9–12.
6. JVC Develops 1.75 inch 8K4K D-ILA Device, available at: www.jvc-victor.co.jp. Data zvernennya 17.10.2019.
7. "Kak eto rabotaet. OLED-displey" [How it works. OLED-displey], available at: https://hi-news.ru/temy/Eto_interesno. Data zvernennya 17.10.2019.
8. "TMOS-displei sostavyat konkurentsiyu OLED i ZhK v 2010 godu" [TMOS- displays will compete with OLED and LC in 2010], available at: <https://3dnews.ru/581518>. Data zvernennya 17.10.2019.
9. "Chto takoe LCD TFT displei. Sovremennyye tehnologii" [What are LCD TFT displays/ Modern technologies], available at: www.techno-guide.ru/informatsionnye-tehnologii/displei/osobennosti-lcd-tft-tehnologii-displeev.html. Data zvernennya 17.10.2019.
10. *Borodin, V. T. and Ryl'skiy, G. I.* (1978), "Pilotazhnye komplekxy i sistemy upravleniya samoletov i vertoletov" [Aerobatic complexes and systems for aircraft and helicopters], Mashinostroyeniye. M. 215 p.
11. *Volosov, D. S.* (1971), "Fotograficheskaya optika" [Photographic optics], Iskusstvo, M. 670 p.
12. Headgear display system using off-axis image sources. Pat. USA № 5576887 dated on 19.11.1996, cl. G02B 27/0172.
13. High brightness see-through head-mounted display. Pat. USA № 6147807 dated on 14.11.2000, cl. G02B 27/14.
14. *Fedosov, E. A.* (1984), "Novyye tendentsii v razvitiy sistem otobrazheniya informatsii i upravleniya boevykh samoletov (Obzor po materialam inostrannoy pechati)" [New trends in the development of information display systems control of combat aircraft (Foreign press review)], Nauchno-informatsionnyy centr, M. 62 p.
15. *Gan, M. A.* (1992), "Teoriya i metody rascheta opticheskikh sistem s golograficheskimi opticheskimi elementami. Avroref. diss. ... d-ra tehn. nauk" [Theory and calculation methods of optical systems with holographic optical elements. Abstract of diss. for the degree Dr. of Technical Sciences], GOI im. S.I. Vavilova. SPb. 32 p.
16. *Senatorov, V. N. and Polezhaev, V. V.* (2008), "Aviatsionnye strelkovyye pritsely i pilotazhno-pritselnye indikatoryy" [Aviation riflescopes pilot-sighting indicators], Artilleriyskoye i strelkovoye vooruzheniye: Mezhd. nauch.-tehn. zhurn. K.: KB AV. № 1(26)/2008. Pp. 30 -34.

Відомості про авторів:**Сенаторов Володимир Миколайович**

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5387-5693>
v.senatorov1945@i.ua

Сенаторов Микола Володимирович

кандидат технічних наук
ТОВ «ЮА.РПА», м. Київ, Україна
mykola.senatorov@gmail.com

Information about the authors:**Volodumir Senatorov**

Candidate of Technical Sciences
Senior Scientist

Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv
<https://orcid.org/0000-0001-5387-5693>
v.senatorov1945@i.ua

Mykola Senatorov

Candidate of Technical Sciences
UA. RPA Ltd, Kyiv
mykola.senatorov@gmail.com

Стаття надійшла до редколегії 31.10.2019 р.

УДК 621.396.9

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3\(23\).78-86](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3(23).78-86)**А. А. ГРОЗДОВ**, начальник відділу<https://orcid.org/0000-0002-5578-6449>

(Центральне управління радіоелектронної боротьби Головного управління оперативного забезпечення Збройних Сил України, м. Київ)

С. Д. ЗІБІН, науковий співробітник<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

А. О. ПОПОВ, кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник<https://orcid.org/0000-0002-8560-617X>

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

В. В. ТВЕРДОХЛІБОВ, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник<https://orcid.org/0000-0002-6802-9796>

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

Методика формування групової оцінки електромагнітної сумісності наземних радіоелектронних засобів передачі інформації

Обґрунтовується необхідність формування групової оцінки електромагнітної сумісності (ЕМС) наземних радіоелектронних засобів (РЕЗ) передачі інформації. Показується, що ця проблема обумовлена значною кількістю одночасно функціонуючих РЕЗ, небажаними випромінюваннями їх передавачів та властивостями РЕЗ приймати випромінювання, які відрізняються по частоті від робочих частот РЕЗ. Основою для синтезу методики групової оцінки ЕМС, що пропонується, є відома методика формування парної оцінки ЕМС, зміст якої стисло розглядається без виводу формул. Показується, що відома методика не дозволяє коректно розраховувати зони ЕМС для РЕЗ з антенними системами довільного типу. Ця методика адаптується авторами до завдання побудови зон ЕМС для робочої пари РЕЗ (передавач – приймач) для довільних типів антенних систем. Побудова зон ЕМС для робочої пари РЕЗ здійснюється на основі параметричного рівняння кривих, що виводиться, які визначають межі зони ЕМС. Приводяться приклади вирішення прямих та зворотних задач ЕМС для випадків збіжності та незбіжності робочих частот для пари РЕЗ, що досліджується, та РЕЗ, що заважає. Групова оцінка ЕМС формується шляхом обчислення співвідношення корисний сигнал – групова завада, при цьому групова завада на вході приймача робочої пари РЕЗ представляється у вигляді адитивної суми взаємних завад від кожного РЕЗ, що працює на передачу, зі складу угруповання, що розглядається. Встановлюється співвідношення для побудови проблемних (з точки зору забезпечення необхідного рівня ЕМС) зон. Наводиться приклад розрахунку групової

оцінки ЕМС для робочої пари РЕЗ, взятої в межах угруповання РЕЗ механізованої бригади, яка розгорнута для ведення оборони, при цьому враховується завадний вплив не лише РЕЗ радіоелектронних об'єктів даної бригади, але й РЕЗ сусідньої. Розрахунки здійснені для РЕЗ типу PRC-9651, PRC-9661 компанії Aselsan, Турція. На основі аналізу отриманих результатів стверджується, що розміри проблемних зон ЕМС можуть бути зменшені двома основними шляхами: по-перше, застосуванням РЕЗ із відносно невеликим рівнем побічних випромінювань, а, по-друге, застосуванням РЕЗ, здатних забезпечувати задовільні пропускні спроможності при малих значеннях коефіцієнта завадозахищеності, тобто при застосуванні РЕЗ, що використовують широкополосні сигнали.

Ключові слова: електромагнітна сумісність (ЕМС), радіоелектронний засіб (РЕЗ), угруповання РЕЗ, робоча пара РЕЗ, парна оцінка ЕМС, групова оцінка ЕМС, завадозахищеність, коефіцієнт завадозахищеності, співвідношення сигнал – групова завада

Обосновывается необходимость формирования групповой оценки электромагнитной совместимости (ЭМС) наземных радиоэлектронных средств (РЭС) передачи информации. Показывается, что данная проблема обусловлена значительным количеством одновременно функционирующих РЭС, нежелательными излучениями их передатчиков и свойствами приемников принимать излучения, которые отличаются по частоте от рабочих частот РЭС. Основой для синтеза предлагаемой методики групповой оценки ЭМС является известная методика формирования парной оценки ЭМС, содержание которой коротко рассматривается без вывода формул. Показывается, что известная методика не позволяет корректно рассчитывать зоны ЭМС для РЭС с антенными системами произвольного типа. Данная методика адаптируется авторами применительно к задаче построения зон ЭМС для рабочей пары РЭС (передатчик – приемник) для произвольных диаграмм направленности антенных систем РЭС на основе предлагаемой пространственно-энергетической модели функционирования РЭС, которая позволяет визуализировать зоны ЭМС для произвольных типов антенных систем. Построение зон ЭМС для рабочей пары РЭС осуществляется на основе выводимого параметрического уравнения кривых, определяющих границы зоны ЭМС. Приводятся примеры решения прямих и обратных задач ЭМС с построением зон ЭМС для случаев совпадения и несовпадения рабочих частот для исследуемой пары РЭС и мешающего РЭС. Групповая оценка ЭМС формируется путем вычисления соотношения полезный сигнал – групповая помеха, при этом групповая помеха на входе приемника рабочей пары РЭС представляется в виде аддитивной суммы взаимных помех от каждого передающего РЭС из состава рассматриваемой группировки. Устанавливается соотношение для построения проблемных (с точки зрения обеспечения необходимого уровня ЭМС) зон. Приводится пример расчета групповой оценки ЭМС для рабочей пары РЭС, взятой в рамках группировки РЭС механизированной бригады, развернутой для ведения обороны, при этом учитывается помеховое влияние не только РЭС радиоэлектронных объектов данной бригады, но и РЭС соседней бригады. Расчеты произведены на РЭС типа PRC-9651, PRC-9661 компании Aselsan, Турция. Исходя из анализа полученных результатов делается вывод о том, что размеры проблемных зон ЭМС могут быть уменьшены двумя основными путями: во-первых, применением РЭС с относительно небольшим уровнем побочных излучений, а, во-вторых, применением РЭС, способных обеспечивать удовлетворительные пропускные способности при малых значениях коэффициента помехозащищенности, т. е. при применении РЭС, использующих широкополосные сигналы.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, радиоэлектронное средство (РЭС), группировка РЭС, рабочая пара РЭС, парная оценка ЭМС, групповая оценка ЭМС, помехозащищенность, коэффициент помехозащищенности, отношение сигнал – групповая помеха

ВСТУП

Умови функціонування радіоелектронних засобів (РЕЗ) та радіоелектронних систем (РЕС) характеризуються значним рівнем взаємних завад, обумовлених значною кількістю одночасно функціонуючих РЕЗ, небажаними випромінюваннями їх передавачів та властивостями приймачів приймати випромінювання, що відрізняються за частотою від робочих частот РЕЗ. В результаті цього обмежуються можливості сумісного, одночасного та незалежного один від іншого функціонування РЕЗ. Зростання чисельності традиційних РЕЗ та виникнення нових радіослужб різного призначення (стільникових, транкингових, мережеских та ін.), що відбувається за останні десятиріччя, призводить до різкого ускладнення електромагнітної обстановки. Цими факторами обумовлена актуальність задачі прогнозування та оцінки електромагнітної сумісності (ЕМС) угруповання РЕЗ, вирішенню якої присвячується широке коло літературних джерел – від навчальної до вузькоспеціалізованої [1, 2, 6 – 9, 11 – 13].

Загальні підходи та окремі методики формування групової оцінки ЕМС вимагають значної кількості вихідних даних стосовно характеристик та параметрів антенних систем, а також передавальних та приймальних пристроїв РЕЗ, рельєфу місцевості, координат РЕЗ тощо [4 – 9, 12, 13]. Для отримання точної групової оцінки ЕМС з урахуванням усіх без винятку факторів слід формувати значні за розмірами бази даних з апріорною інформацією та використовувати значні обчислювальні ресурси. При цьому недоступна на даний час інформація стосовно одного чи деяких параметрів того чи іншого РЕЗ, або, наприклад, їх координат, може призвести до того, що загальний алгоритм оцінки ЕМС, реалізований у вигляді спеціалізованого програмного забезпечення автоматизованого робочого місця програмно-апаратного комплексу, буде неспроможним здійснювати розрахунки без наявності всієї передбаченої сукупності апріорних даних [4, 5, 9].

В роботі розглядається задача формування групової статистично-детермінованої оцінки ЕМС [14] наземних РЕЗ зв'язку та передачі інформації в інтересах створення системи інформаційного забезпечення радіочастотного моніторингу в межах угруповання військ (сил). Ефективність роботи інформаційної системи радіочастотного моніторингу визначається її швидкістю та точністю, які залежать від складності моделей, що використовуються при розрахунках, оскільки оцінці підлягають взаємний вплив тисяч РЕЗ, функціонуючих в межах одного угруповання військ (сил).

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ. Основною метою розрахунку ЕМС РЕЗ є кількісна оцінка умов їх функціонування, при яких рівень взаємних завад не перевищує встановлених норм [1, 3, 9, 10, 15]. На рис. 1 показана схема виникнення взаємних завад між декількома РЕЗ зв'язку та передачі інформації. Розрахунком визначаються обмеження параметрів РЕЗ, випромінюючих як завадові, так і корисні сигнали. Тому при розрахунку ЕМС сигнал, що випромінюється передавачем РЕЗ, вважається корисним, якщо враховується його вплив на

приймач цієї системи, або завадовим, якщо розглядається його вплив на приймач іншої системи. Основні задачі парної оцінки ЕМС розподіляються на прямі, зворотні та визначення частотних рознесенень [1].

Прямі задачі передбачають визначення такого співвідношення потужності корисного сигналу до потужності завади на вході приймача РЕЗ, яке забезпечує функціонування робочого РЕЗ із заданою якістю при фіксованому просторовому рознесенні РЕЗ, що заважають, а також при збіжності та незбіжності несучих частот робочих РЕЗ та РЕЗ, що заважають.

Зворотні задачі пов'язані із визначенням такого просторового рознесення між робочим РЕЗ та РЕЗ, що заважають, при якому забезпечується функціонування робочого РЕЗ із заданою якістю у випадках збіжності та незбіжності несучих частот робочого РЕЗ та РЕЗ, що заважають.

Задача визначення частотного рознесення вирішується шляхом забезпечення частотного рознесення між взаємодіючими РЕЗ із відомим просторовим рознесенням, яке забезпечує їх функціонування із заданою якістю.

При розв'язанні основних задач ЕМС найбільш важливою енергетичною характеристикою завадостійкості вважається коефіцієнт завадостійкості K_c , під яким розуміється мінімальне необхідне співвідношення середньої потужності корисного сигналу до середньої потужності завадового сигналу на вході приймача РЕЗ в смузі пропускання його лінійної частини, при якому забезпечується задана якість функціонування РЕЗ [1, 2, 4 – 9]:

$$K_c = (P_s / P_n)_{\min} \quad (1)$$

Чисельні значення коефіцієнту завадостійкості K_c можуть бути знайдені лише для заданих РЕЗ та виду завадових сигналів.

Взаємні завади не порушують функціонування РЕЗ за умови

$$q^2 = (P_s / P_n)_{in} \geq K_c, \quad (2)$$

де q^2 – співвідношення потужності корисного сигналу до потужності завади на вході приймача.

Тому при вирішенні завдань ЕМС перш за все необхідно встановити залежність K_c від параметрів робочого РЕЗ та РЕЗ, що створює йому взаємні завади.

Дальність радіоелектронного впливу завад залежить від багатьох факторів, зокрема, від потужності радіопередавальних пристроїв радіоелектронних засобів (РЕЗ) та/або радіоелектронних систем (РЕС), характеристик їх антенних систем, чутливості приймальних пристроїв, умов розповсюдження електромагнітних хвиль, видів випромінювання та способів обробки сигналів, діапазону робочих частот, ефективності пристроїв захисту від завад [1, 2, 4 – 13]. Врахувати всі перелічені фактори надзвичайно складно. У зв'язку з цим дальність радіоелектронного впливу завад на РЕЗ, а також необхідні частотні, часові та просторові рознесення між РЕЗ оцінюються за усередненими параметрами та уточнюються в процесі проведення випробувань та моделювання [4 – 6, 9, 10].

РЕЗ можуть подавлятися іншими РЕЗ лише в тому випадку, коли відношення потужності завади, яка припадає на смугу перепускання приймального пристрою, до потужності сигналу перевищує деяке мінімальне необхідне значення, яке характерне для даного виду завади та сигналу.

Чим більше K_c , тим легше здійснити радіоелектронний вплив завадами на РЕЗ при інших рівних умовах. Простір, в межах якого $q^2 > K_c$, називається зоною ЕМС РЕЗ, а при $q^2 < K_c$ – зоною відсутності ЕМС. Межа цих зон проходить на рівні, коли $q^2 = K_c$. Зоною ЕМС вважається простір, в межах якого РЕЗ функціонують із заданою якістю [1, 6 – 9].

Відома методика [1, 2, 7, 9], яка дозволяє визначити зону ЕМС, в межах якої РЕЗ функціонують із заданою якістю. Для цього потрібно встановити залежність $q^2 = (P_s / P_n)_{in}$ від параметрів та взаємного просторового положення робочої РЕЗ та РЕЗ, що заважає.

Визначимо значення $q^2 = (P_s / P_n)_{in}$ на вході радіоприймального пристрою при впливі завад (рис. 1). Вважатимемо, що радіохвилі розповсюджуються у вільному просторі, тоді потужність корисного сигналу $P_{s,in}$ (без врахування втрат) на вході приймального пристрою в межах його смуги перепускання можна визначити як:

$$P_{s,in} = P \cdot G(\beta, \varepsilon) \cdot G_0(\beta, \varepsilon) \cdot \lambda^2 / (4\pi r^2 \cdot 4\pi), \quad (3)$$

де P – потужність передавача РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації; $G(\beta, \varepsilon)$, $G_0(\beta, \varepsilon)$ – коефіцієнти підсилення антенної системи передавача РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації, та РЕЗ (РЕС), що здійснює прийом інформації відповідно; r – відстань між РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації та РЕЗ (РЕС), що здійснює прийом інформації.

Потужність завад $P_{n,in}$ з рівномірним спектром шириною F_n на вході приймача в межах смуги перепускання його лінійної частини F_0 (за умов, що $F_n > F_0$):

$$P_{n,in} = P_j \cdot G_j(\beta, \varepsilon) \cdot G_0(\beta, \varepsilon) \cdot v_p \cdot v_{RF} \cdot \lambda^2 F_0 / (4\pi R^2 \cdot 4\pi \cdot F_n), \quad (4)$$

де P_j – потужність РЕЗ, що заважає; $G_j(\beta, \varepsilon)$ – коефіцієнт підсилення антенної системи РЕЗ, що заважає; $G_0(\beta, \varepsilon)$ – коефіцієнти підсилення антенної системи РЕЗ (РЕС), що здійснює прийом інформації; R – відстань між РЕЗ, що заважає, та РЕЗ (РЕС), що здійснює прийом інформації; v_p – коефіцієнт, що враховує розходження поляризації завади та сигналу; v_{RF} – коефіцієнт, що враховує послаблення завади у високочастотному тракту приймача, включаючи нерівномірність розподілу за спектром завадового сигналу, а також неспівпадіння несучих частот РЕЗ.

Підставляючи значення $P_{s,in}$ (3), $P_{n,in}$ (4) до формули $q^2 = (P_s / P_n)_{in}$, отримаємо співвідношення потужності завади до потужності сигналу на вході приймального пристрою РЕЗ в смузі перепускання:

$$q^2 = \frac{P \cdot G(\beta, \varepsilon) \cdot F_n \cdot R^2}{P_j \cdot G_j(\beta, \varepsilon) \cdot v_p \cdot v_{RF} \cdot F_0 \cdot r^2}. \quad (5)$$

Дальність впливу взаємних завад на робочу РЕЗ буде різною в залежності від енергетичних потенціалів та форм діаграм спрямованості антен (ДСА) РЕЗ зв'язку та передачі інформації та РЕЗ, що заважає, а також їх взаємного просторового положення:

$$R = r \sqrt{\frac{P_j \cdot G_j(\beta, \varepsilon) \cdot v_p \cdot v_{RF} \cdot K \cdot F_0}{P \cdot G(\beta, \varepsilon) \cdot F_n}} = rB. \quad (6)$$

Якщо підкорінний вираз формули позначити через B , то при $B < 1$, коли енергетичний потенціал РЕЗ, що заважає, менше ніж потенціал РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації, зона ЕМС займає всю площину, за винятком, кола зони відсутності ЕМС радіусом $R_j = dB / (1 - B^2)$ з центром, зміщеним в бік, протилежний від напрямку на РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації на величину $d_j = R_j \cdot B$ (рис. 2). При $B > 1$, коли енергетичний потенціал РЕЗ, що заважає, перевищує потенціал РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації, зона ЕМС займає коло радіусом $R_r = dB / (B^2 - 1)$. При цьому центр кола зміщений відносно місцеположення РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації, в бік, протилежний напрямку на РЕЗ, що заважає, на величину $d_r = R_r / B$. При $B = 1$ межа зони ЕМС проходить посередині між робочою РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації, та РЕЗ, що заважає.

Відома методика побудови зон ЕМС [1] не є досконалою з причин неврахування діаграм спрямованості антенних систем РЕЗ. Вказана методика передбачає всеспрямованість діаграм спрямованості антенних систем РЕЗ, при цьому коефіцієнти підсилення G_j , G антенних систем РЕЗ можуть значно перевищувати 1: $G_j, G \gg 1$, що суперечить основному обмеженню даної методики стосовно всеспрямованості діаграм спрямованості антенних систем РЕЗ. Для подолання цього протиріччя, що не дозволяє коректно застосовувати відому методику побудови зон ЕМС, в роботі пропонується розроблена просторово-енергетична модель функціонування РЕЗ та РЕС зв'язку та передачі інформації в умовах впливу взаємних завад, яка дозволяє візуалізувати зони ЕМС для довільних типів антенних систем, які можуть застосовуватись в РЕЗ зв'язку та передачі інформації.

Просторово-енергетична модель функціонування зразків засобів та комплексів радіоелектронної боротьби з РЕЗ та РЕС зв'язку та передачі інформації, що пропонується, передбачає такі обмеження:

1) координати РЕЗ, що заважає (x_3, y_3), обираються в початку координат: (x_3, y_3) = (0, 0), а координати РЕЗ (РЕС) (x_{PE3}, y_{PE3}), що здійснює передачу інформації, обираються таким чином, що $x_{PE3} = 0$, а $y_{PE3} = d$, де d – відстань між РЕЗ, що заважає та РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації;

2) візуалізація зон ЕМС здійснюється або у горизонтальній площині, або у вертикальній площині окремо;

3) побудова зон ЕМС здійснюється окремо для аналогових та окремо для цифрових РЕЗ (РЕС) зв'язку та передачі інформації, при цьому для цифрових РЕЗ

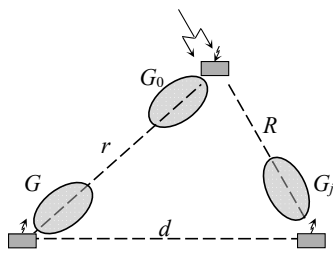


Рис. 1. Геометричні співвідношення між робочою парою РЕЗ та РЕЗ, що заважає

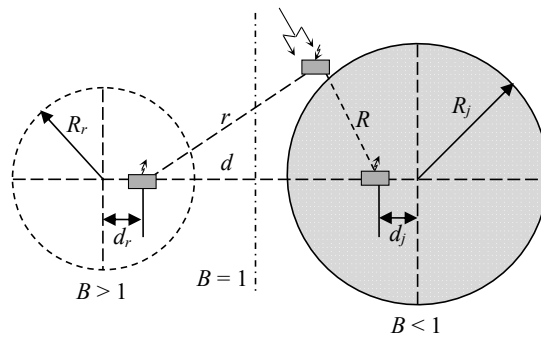


Рис. 2. Принципи побудови зон EMC

коефіцієнт K_c розраховується на основі критерію погіршення відносної пропускну здатності каналу передачі інформації на 2 біт/(Гц×с), що аналогічно погіршенню співвідношення сигнал/(завада + шум) в $2^2=4$ разів та відповідає коефіцієнту завадостійкості $K_c=1/4$.

4) вихідними даними для застосування просторово-енергетичної моделі функціонування РЕЗ та РЕС зв'язку та передачі інформації є: потужність передавача РЕЗ, що заважає, P_j та потужність передавача P РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації; коефіцієнт завадостійкості за потужністю $K_c = (P_s / P_n)_{\min}$; відстань d між засобом РЕЗ, що заважає, та РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації; діаграми спрямованості $G_j(\beta, \epsilon)$, $G(\beta, \epsilon)$ за потужністю антенної системи РЕЗ, що заважає, та РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації в азимутальній та кутомістній площинах відповідно.

Для пояснення методики побудови зон EMC для робочої пари РЕЗ скористаємось основними геометричними співвідношеннями між 1) РЕЗ, що заважає; 2) РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації; 3) РЕЗ (РЕС), що здійснює прийом інформації, які показані на рис. 3. Межа зон EMC визначається тотожністю щільності потоку потужності завадового та корисного сигналів в точці прийому з урахуванням необхідного коефіцієнту завадостійкості K_c :

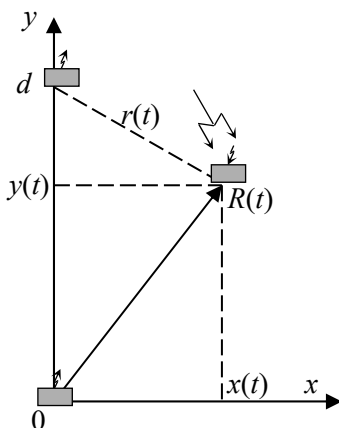


Рис. 3. Розміщення РЕЗ відносно обраної системи координат

$$\frac{P_j \cdot G_j(\beta, \epsilon) \cdot v_p \cdot v_{RF} \cdot K \cdot F_0}{R^2(t)} = \frac{P \cdot G(\beta, \epsilon) \cdot F_n}{r^2(t)}, \quad (7)$$

де P_j – потужність передавача РЕЗ, що заважає; P – потужність передавача РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації; $K_c = (P_s / P_n)_{\min}$ – коефіцієнт завадостійкості за потужністю; d – відстань між РЕЗ, що заважає, та РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації; $R(t)$ – відстань між РЕЗ, що заважає, та РЕЗ (РЕС), що здійснює прийом інформації; $r(t)$ – відстань між РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації, та РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації; v_p – коефіцієнт, що враховує розходження поляризації завади та сигналу; v_{RF} – коефіцієнт, що враховує послаблення завади у високочастотному тракті приймача, включаючи нерівномірність розподілу за спектром завадового сигналу, а також неспівпадіння несучих частот РЕЗ; F_n – ширина спектру завадового сигналу на вході приймача в межах смуги пропускання його лінійної частини F_0 (за умов що $F_n > F_0$); $G_j(\beta, \epsilon)$ – діаграма спрямованості за потужністю антенної системи РЕЗ, що заважає, в азимутальній та кутомістній площинах відповідно; $G(\beta, \epsilon)$ – діаграма спрямованості за потужністю антенної системи РЕЗ (РЕС), що здійснює прийом інформації (що подається), в азимутальній та кутомістній площинах відповідно; $x(t), y(t)$ – координати РЕЗ (РЕС), що здійснює прийом інформації; t – параметр, що визначає параметричне завдання кривих.

З тотожності (7) випливає квадратне рівняння:

$$a(t)R^2(t) + b(t)R(t) + c(t) = 0, \quad (8)$$

де $a(t) = 1 - B^2(t)$; $b(t) = 2dB^2(t) \sin(t)$; $c(t) = -d^2 B^2(t)$;

$$B(t) = \sqrt{\frac{P_j \cdot G_j(\beta, \epsilon) \cdot v_p \cdot v_{RF} \cdot K \cdot F_0}{P \cdot G(\beta, \epsilon) \cdot F_n}}$$

Квадратичне рівняння (8) має два коріння, які визначають рішення:

$$R_1(t) = \text{Re} \left[\frac{1}{2a(t)} (-b(t) + \sqrt{b^2(t) - 4a(t)c(t)}) \right]; \quad (9a)$$

$$R_2(t) = \text{Re} \left[\frac{1}{2a(t)} (-b(t) - \sqrt{b^2(t) - 4a(t)c(t)}) \right]. \quad (9b)$$

Рішення (9) рівняння (8) визначає дві криві, які характеризують зони ЕМС, та в параметричній формі запису мають вигляд:

$$x_1(t) = R_1(t) \cos(t), \quad y_1(t) = R_1(t) \sin(t); \quad (10a)$$

$$x_2(t) = R_2(t) \cos(t), \quad y_2(t) = R_2(t) \sin(t). \quad (10б)$$

Для ілюстрації наведеної методики парної оцінки ЕМС розглянемо два приклада, що пояснюють два випадки побудови зон ЕМС при співпадінні та неспівпадінні несучих частот робочого РЕЗ та РЕЗ, що заважає.

Приклад 1. Хай треба здійснити парну оцінку ЕМС для двох цифрових наземних РЕЗ зв'язку та передачі інформації, що рознесені в просторі на відстань d між РЕЗ, що заважає, та РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації, яка дорівнює 10 км; при цьому відомо, що спектри їх випромінювань повністю співпадають ($F_n = F_0$, див. формулу (7)); потужність передавача РЕЗ, що заважає P_j дорівнює 150 Вт; потужність передавача P РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації, дорівнює 50 Вт; $K_c = (P_s / P_n)_{\min}$ – коефіцієнт завадостійкості робочого РЕЗ дорівнює 1/4; коефіцієнт, що враховує розходження поляризації завади та сигналу ν_p , дорівнює 1; коефіцієнт, що враховує послаблення завади у високочастотному тракті приймача ν_{RF} , дорівнює 1; діаграма спрямованості за потужністю антенної системи РЕЗ, що заважає, в азимутальній та кутомістній площинах відповідно $G_j(\beta, \epsilon)$ відповідає логоперіодичній антені з коефіцієнтом підсилення, рівним 10, при цьому максимум діаграми спрямованості $G_j(\beta, \epsilon)$ відповідає напрямку на передавач робочої РЕЗ; діаграма спрямованості за потужністю антенної системи РЕЗ (РЕС), що здійснює прийом інформації $G(\beta, \epsilon)$, в азимутальній та кутомістній площинах відповідно, відповідає штирьовій антені. На рис. 4 показана зона ЕМС для випадку, що наведено вище, при цьому зона ЕМС займає площу навколо передавача робочого РЕЗ, яка обмежується межею, що наведена пунктирною та штриховою лініями.

Приклад 2. Хай треба здійснити парну оцінку ЕМС для двох цифрових наземних РЕЗ зв'язку та передачі інформації, що рознесені в просторі на відстань d між

РЕЗ, що заважає, та РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації, яка дорівнює 10 км; при цьому відомо, що спектри їх випромінювань не співпадають; потужність передавача РЕЗ, що заважає P_j , дорівнює 150 Вт; потужність передавача P РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації, дорівнює 50 Вт; $K_c = (P_s / P_n)_{\min}$ – коефіцієнт завадостійкості робочого РЕЗ дорівнює 1/4; коефіцієнт, що враховує розходження поляризації завади та сигналу ν_p , дорівнює 1; коефіцієнт, що враховує послаблення завади у високочастотному тракті приймача ν_{RF} , дорівнює – 60 дБ (враховуючі норми на побічні випромінювання, наведені у [3]); діаграма спрямованості за потужністю антенної системи РЕЗ, що заважає, в азимутальній та кутомістній площинах відповідно $G_j(\beta, \epsilon)$ відповідає штирьовій антені; діаграма спрямованості за потужністю антенної системи РЕЗ (РЕС), що здійснює прийом інформації $G(\beta, \epsilon)$, в азимутальній та кутомістній площинах відповідно, також відповідає штирьовій антені. На рис. 5 показана зона ЕМС для випадку, що наведено вище, при цьому зона ЕМС займає всю площину, за винятком кола зони відсутності ЕМС.

Отримаємо групову оцінку ЕМС для окремо взятої робочої пари передавач – приймач в рамках деякого угруповання радіоелектронних об'єктів, кожний з яких характеризується наявністю певної сукупності РЕЗ зв'язку та передачі інформації в загальному випадку з різними технічними характеристиками. Групова оцінка ЕМС за ГОСТ [14] здійснюється шляхом обчислення співвідношення сигнал – група завади q^2 (5), при цьому групова завада формується на вході приймача робочої пари РЕЗ як адитивна сума взаємних завад від кожного РЕЗ з угруповання:

$$q_{m,n}^2 = \frac{P \cdot G(\beta, \epsilon)}{r^2 \cdot \left[\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \frac{P_{k,i} \cdot G_{k,i}(\beta, \epsilon) \cdot \nu_{k,i}^p \cdot \nu_{k,i}^{RF}}{(x_{k,i} - m \cdot \Delta)^2 + (y_{k,i} - n \cdot \Delta)^2} \right]}, \quad (11)$$

де $P_{k,i}$ – потужність передавача РЕЗ, що заважає (і-го типу k-го об'єкта); P – потужність робочого передавача РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації;

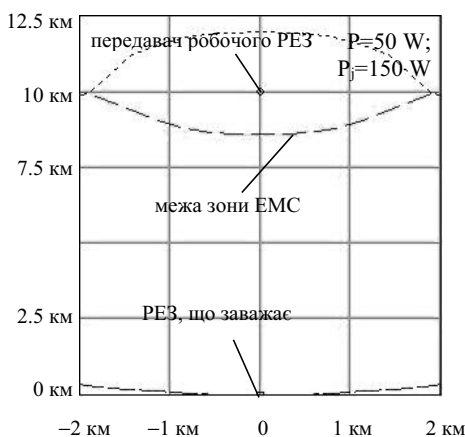


Рис. 4. Зона ЕМС при співпадінні спектрів випромінювання

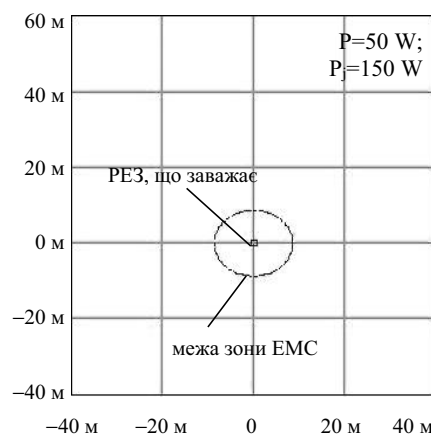


Рис. 5. Зона ЕМС при неспівпадінні спектрів випромінювання

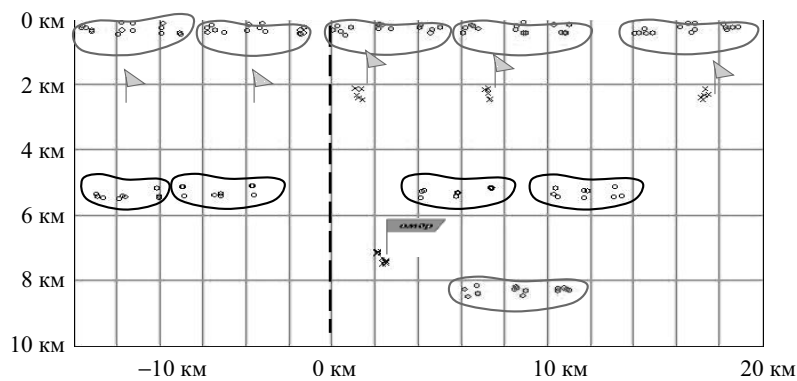


Рис. 6. Угрупування РЕЗ в смузї дій механізованої бригади

$R_{k,i}^2 = (x_{k,i} - m \cdot \Delta)^2 + (y_{k,i} - n \cdot \Delta)^2$ – відстань між РЕЗ, що заважає, та РЕЗ (РЕС), що здійснює прийом інформації; $(x_{k,i}, y_{k,i})$ – прямокутні координати передавачів РЕЗ, що заважають (і-го типу к-го об'єкта); $(m \cdot \Delta, n \cdot \Delta)$ – прямокутні координати приймача робочої пари РЕЗ, на вході якого досліджується співвідношення сигнал – завада; Δ – роздільна здатність методу; m, n – індекси матриці співвідношення сигнал – завада $q_{m,n}^2$; r – відстань між робочою парою РЕЗ (РЕС), що здійснює прийом інформації, та РЕЗ (РЕС), що здійснює передачу інформації; $v_{k,i}^p$ – коефіцієнт, що враховує розходження поляризації завади від РЕЗ, що заважає (і-го типу к-го об'єкта) та сигналу; $v_{k,i}^{RF}$ – коефіцієнт, що враховує послаблення завади від РЕЗ, що заважає (і-го типу к-го об'єкта) у високочастотному тракті приймача, включаючи нерівномірність розподілу за спектром заводового сигналу, а також неспівпадіння несучих частот РЕЗ; $G_{k,i}(\beta, \epsilon)$ – діаграма спрямованості за потужністю антенної системи РЕЗ, що заважає (і-го типу к-го об'єкта), в азимутальній та кутомістній площинах відповідно; $G(\beta, \epsilon)$ – діаграма спрямованості за потужністю антенної системи РЕЗ (РЕС), що здійснює прийом інформації (що подавляється), в азимутальній та кутомістній площинах відповідно.

Нагадаємо, що простір, в межах якого $q^2 > K_c$, називається зоною ЕМС РЕЗ, а при $q^2 < K_c$ – зоною відсутності ЕМС. Межа цих зон проходить на рівні, коли

$q^2 = K_c$. Зоною ЕМС вважається простір, в межах якого РЕЗ функціонують із заданою якістю.

Тому проблемні зони $Z_{m,n}$ ($q^2 < K_c$) в сенсі забезпечення необхідного рівня ЕМС ($q^2 > K_c$) будуть визначатись співвідношенням:

$$Z_{m,n} = \min(q_{m,n}^2, K_c). \quad (12)$$

Для ілюстрації викладеної методики групової оцінки ЕМС розглянемо такий приклад.

Приклад 3. Хай треба здійснити групову оцінку ЕМС для окремо взятої робочої пари передавач – приймач, що розташовані на відстані $r = 2000$ м один від одного, в рамках угрупування радіоелектронних об'єктів механізованої бригади, розгорнутої для ведення оборони в смузї шириною 20 км, в складі трьох батальйонів в першому ешелоні (триротного складу кожний), одного батальйону в другому ешелоні, та двох артилерійських дивізіонів (трибатареїного складу кожний) (рис. 6). При цьому слід враховувати вплив радіоелектронних об'єктів сусідньої механізованої бригади, що займає оборону ліворуч (рис. 6). Хай одночасно працюють на випромінювання до 5 РЕЗ в кожній роті; до 3 РЕЗ в кожному дивізіоні; до 5 РЕЗ на КСП батальйону, та до 10 РЕЗ на КП бригади, при цьому вважатимемо, що на пунктах управління застосовуються РЕЗ типу PRC-9661

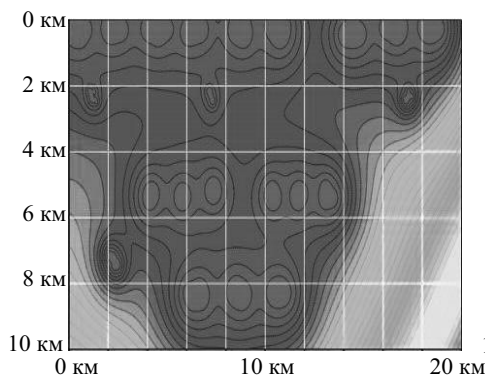


Рис. 7а. Результати оцінки співвідношення корисний сигнал – групова завада, отримані за формулою (11) для угрупування РЕЗ бригади

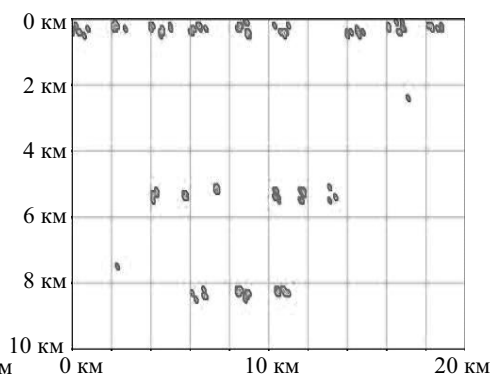


Рис. 7б. Проблемні зони ЕМС в межах угрупування РЕЗ бригади

потужністю 50 Вт, а в підрозділах РЕЗ типу PRC-9651 потужністю 5 Вт, з робочим діапазоном 30 – 512 МГц. Вважатимемо також, що дані РЕЗ відповідають вимогам ЕМС стосовно побічних випромінювань, наведених в [3, 9, 15], які становлять: для PRC-9661 $v_{k,i}^{RF} = -60$ дБ; а для PRC-9651 $v_{k,i}^{RF} = -40$ дБ. Поляризація для вказаних РЕЗ є однаковою, тому $v_{k,i}^P = 1$. Антени РЕЗ вважаються все спрямованими. Для задовільної передачі інформації через цифровий канал зі смугою 25 кГц достатньо забезпечити значення коефіцієнту завадостійкості $K_c = 10$, що відповідатиме пропускну спроможності 8 кБ/с. Окремі РЕЗ підрозділів бригади, що працюють на передачу, на рис. 6 показані символом «о», а РЕЗ вузлів зв'язку бригади та батальйонів показані символом «'». Групова оцінка ЕМС здійснюється в смузі ліворуч від штрихової лінії, що показана на рис. 6.

Результати оцінки співвідношення корисний сигнал – групова завада, отримані за формулою (11) для угруповання РЕЗ бригади, показаного на рис. 6, візуалізуються на рис. 7а, де за допомогою ліній постійного рівня відображені відповідні значення матриці співвідношення сигнал-завада $q_{m,n}^2$. Із аналізу рис. 7а випливає, що найменші значення співвідношення сигнал – завада відповідають районам розташування радіоелектронних об'єктів бригади (ротні опорні пункти, вогневі позиції артилерійських батарей, вузли зв'язку, тощо). На рис. 7б показані проблемні зони $Z_{m,n}$ ($q^2 < K_c$) в сенсі забезпечення необхідного рівня ЕМС ($q^2 > K_c$), що визначаються співвідношенням (12) у відповідності до критерію забезпечення необхідного рівня ЕМС (2). З аналізу графічної інформації, представленої на рис. 7б, випливає, що вказані проблемні місця для розміщення приймачів робочої пари РЕЗ повністю співпадають із місцями розташування РЕЗ, що працюють на передачу, які відображені на рис. 6. Розміри проблемних зон ЕМС $Z_{m,n}$ (12) можна суттєво знизити двома основними шляхами: по-перше, застосуванням РЕЗ із відносно невеликим рівнем побічних випромінювань $v_{k,i}^{RF} = -60 \dots -50$ дБ, а по-друге, застосуванням РЕЗ, що здатні забезпечувати задовільні пропускну спроможності при малих значеннях коефіцієнту завадозахищеності ($K_c \ll 1$), тобто при застосуванні відносно широкосмугових РЕЗ.

ВИСНОВКИ

1. Результати застосування методики оцінки ЕМС по відношенню до робочої пари РЕЗ (рис. 4, 5), а також до групи РЕЗ (рис. 7 а, б) є інтуїтивно зрозумілими, що дозволяє стверджувати про адекватність методичного апарату, покладеного в основу методики.

2. Викладена методика формування групової оцінки ЕМС дозволяє без залучення суттєвих обчислювальних ресурсів отримувати адекватні результати для угруповань РЕЗ зв'язку та передачі інформації тактичної ланки управління при наявності мінімальної апріорної інформації про угруповання РЕЗ: основні ТТХ РЕЗ (потужність, робочий діапазон частот, ширина смуги каналу, рівні побічних та позасмугових випромінювань) та їх

координати (або райони розгортання радіоелектронних об'єктів).

3. Викладена методика формування групової оцінки ЕМС забезпечує проведення моделювання процесу роботи угруповання РЕЗ із заданими ТТХ в складних умовах взаємного впливу РЕЗ, що, по-перше, дозволяє економити значні матеріально-технічні ресурси при попередньому дослідженні питань забезпечення необхідного рівня ЕМС в угрупованнях військ (сил), а по-друге, дозволяє обґрунтовувати вимоги до РЕЗ, що розробляються, стосовно питань забезпечення ЕМС при їх сумісному застосуванні в межах певного угруповання військ (сил).

4. Розміри проблемних зон ЕМС $Z_{m,n}$ (12) можна суттєво знизити двома основними шляхами: по-перше, застосуванням РЕЗ із відносно невеликим рівнем побічних випромінювань $v_{k,i}^{RF} = -60 \dots -50$ дБ, а по-друге, застосуванням РЕЗ, що здатні забезпечувати задовільні пропускну спроможності при малих значеннях коефіцієнту завадозахищеності ($K_c \ll 1$), тобто при застосуванні РЕЗ, що використовують широкосмугові сигнали.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Справочник по радиоэлектронным системам / И.А. Волошин и др. В 2 т. Т. 2. М.: Энергия, 1979. 368 с.
2. Защита от помех / М.В. Максимов и др.; под ред. М.В. Максимова. М.: Сов. Радио, 1976. 496 с.
3. Бадалов А.Л., Михайлов А.С. Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС: Справочник. М.: Радио и связь, 1990. 272 с.
4. Tesche, F.M., Ianos, M.V. and Karlson, T. (1997). EMC Analysis Methods and Computational Models. Wiley-Interscience, New York. 656 p.
5. Archambeault, B., Brench, C. and Ramahi, O.M. (2001). EMI/EMC Computational Modeling Handbook, 2nd Ed. Springer Science, 324 p.
6. Грошев Г.А. Электромагнитная совместимость в группировке радиоэлектронных средств. Калининград: БГА РФ, 2001. 234 с.
7. Седельников Ю.В. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Казань: ЗАО «Новое знание», 2006. 304 с.
8. Бузов А.Л., Быховский М.А., Васенко Н.В., Волкова Ю.В. Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. М.: Эко-Трендз, 2006. 376 с.
9. Ильющенко С.Г. Судовая радиосвязь. Анализ и методика расчета электромагнитной совместимости в системах связи, радиолокации и телевидения. Камчатский ГТУ, 2007. 105 с.
10. Morgan, D.A. 2007. Handbook for EMC Testing and Measurement. London: Institution of Engineering and Technology. 304 p.
11. Ефанов В.И., Тихомиров А.А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем. Томск: ТГУ, 2012. 228 с.

12. Коваленко І.Г., Бригадир С.П., Мазніченко Ю.А. Методики аналізу електромагнітної сумісності засобів радіозв'язку спеціального призначення. Зб. наукових пр. ВІТІ. № 1. 2016. С. 71 – 80.
13. Vered, U. Intersystem EMC Analysis, Interference, and Solutions. Artech House, 2018. 300 p.
14. ГОСТ В 25.838-83. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Методы комплексной оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, которые размещаются на объектах и в локальных группировках. М.: Изд-во стандартов, 1983.
15. MIL-STD-461E. Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment, August 20, 1999.

REFERENCES

1. Voloshin, I.A., Bykov, V.V., Vasin, V.V. et al. (1979), “*Spravoshnik po radioelektronim sistemam*” [Handbook on Electronic Systems], v.2. Energia, M. 368 p.
2. Maksimov, M.V. et al. (1976), “*Zashchita ot pomех*” [Electromagnetic Protection], ed. by M.V. Maksimov. Sov. Radio, M. 496 p.
3. Badalov, A.L., Mihaylov, A.S. (1990), “*Normy na parametry elektromagnitnoy sovместimosti*” [Norms on Electromagnetic Compatibility], Handbook, Radio i sviaz, M. 272 p.
4. Tesche, F.M., Ianos, M.V. and Karlson, T. (1997), *EMC Analysis Methods and Computational Models*, Wiley-Interscience, New York, 656 p.
5. Archambeault, B., Brench, C. and Ramahi, O.M. (2001), *EMI/EMC Computational Modeling Handbook*, 2nd Ed. Springer Science, 324 p.
6. Groshev, G.A. (2001), “*Elektromagnitnaya sovместimost v gruppировке radioelektronnyh sredstv*” [Electromagnetic Compatibility within Group of Electronic Systems], BGA RF publishing, Kaliningrad. 234 p.
7. Sedelnikov, Yu.V. (2006), “*Elektromagnitnaya sovместimost radioelektronnyh sredstv*” [Electromagnetic Compatibility of Electronic Systems], ZAO «Novoe znanie», Kazan. 304 p.
8. Buzov, A.L., Byhovskiy, M.A., Vasenko, N.V. and Volkova Yu.V. (2006), “*Upravlenie radiochastotnym spektrom i elektromagnitnaya sovместimost radio-system*” [Radiofrequency Spectrum Management and Electromagnetic Compatibility of Radiosystems], Eko-Trendz, M. 376 p.
9. Ilyushenko, S.G. (2007), “*Sudovay radiosvyz. Analis and metodika raschetov elektromagnitnoi sovместimosti svyzi, radiolokatsii i televideniya*” [Shipboard Communication. Analysis and Method of Calculating Electromagnetic Compatibility of Communication, Radar, and Television Systems], Kamchatka STU, 105 p.
10. Morgan, D.A. (2007), *Handbook for EMC Testing and Measurement*, London: Institution of Engineering and Technology, 304 p.
11. Efanov, V.I. and Tihomirov, A.A. (2012), “*Elektromagnitnaya sovместimost elektromagnitnyh sredstv i system*” [Electromagnetic Compatibility of Electronic Means and Systems], TSU, Tomsk. 228 p.
12. Kovalenko, I.G., Brigadir, S.P. and Maznichenko, Yu.A. (2016), “*Metodyka analyzu elektromagnitnoi sumisnosti zasobiv radiozvyazku specialnogo pryznachen-nya*” [Analysis methods of electromagnetic compatibility of special purpose communication means], Proc. of VITI, № 1, pp. 71 – 80.
13. Vered, U. (2018), *Intersystem EMC Analysis, Interference, and Solutions*, Artech House. 300 p.
14. GOST V 25.838-83. (1983). *Sovместimost radioelektronnyh sredstv elektromagnitnaya. Metody kompleksnoy otsenki elektromagnitnoy sovместimosti radioelektronnyh sredstv, kotorye razmeschayutsa na obektah i v lokalnyh gruppировках* [Electromagnetic Compatibility of Electronic systems. Methods of Complex Evaluation of Electromagnetic Compatibility of Electronic systems situated in the objects and local groups], Standards publishing, M.
15. MIL-STD-461E. (1999), *Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment*.

Відомості про авторів:

Гроздов Андрій Анатолійович

начальник відділу Центрального управління Радіоелектронної боротьби Головного управління оперативного забезпечення м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>

Зібін Сергій Данилович

науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>

Попов Андрій Олексійович

кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8560-617X>

Твердохлібов Володимир Віталійович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного управління Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6802-9796>

Information about the authors:

Grozdrov Andrey

Chief of department of Central Electronic Warfare Management of Main Operation Providing Management, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>

Zibin Sergey

Research Associate of Central Scientific Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>

Popov Andrey

Candidate of Technical Science, Associate Professor,
leading researcher of Central Scientific Research Institute
of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of
Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8560-617X>

Tverdochlibov Volodimir

Candidate of Technical Science, Senior Researcher,
Chief of Scientific Research Management of Central Scientific
Research Institute of Weapons and Military Equipment of the
Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6802-9796>

Стаття надійшла до редколегії 09.09.2019 р.

УДК 327:355.02(477)

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.4\(24\).87-92](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.4(24).87-92)**М. О. БІЛОКУР**, *ад'юнкнт*<https://orcid.org/0000-0002-2954-8497>*(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)*

Отримання вихідних даних для вимірювання вартості етапу життєвого циклу «експлуатація»

Визначено перелік і зміст вихідних даних при забезпеченні військових формувань відповідним озброєнням, на одному з етапів вибору озброєння після здійснення оцінки військової інфраструктури. Запропоновано на стадіях життєвого циклу використовувати можливі статистично-математичні методи, які при інсталяції в існуючий алгоритм аналізу факторів покращать процес формування програм озброєння.

Перелік і зміст відповідних даних допоможе здійснити розрахунки у вартісній формі (у вигляді витрат), здійснивши проєкцію таких витрат на стадії життєвого циклу озброєння, а обрати такий перелік за критерії при розв'язанні задачі синтезу. При отриманні неповного змісту даних відповідного переліку є можливість зменшити ступінь невизначеності та суб'єктивізму, вирішуючи задачу вибору шляхів забезпечення озброєнням експертним шляхом.

Ключові слова: озброєння та військова техніка, вихідні дані, життєвий цикл.

Определены перечень и содержание исходных данных при обеспечении войсковых формирований вооружением на одном из этапов выбора вооружения после проведения оценки войсковой инфраструктуры. Предложено на стадиях жизненного цикла использовать всевозможные статистически-математические методы, которые при инсталляции в существующий алгоритм анализа факторов улучшат процесс формирования программ вооружения.

Перечень и содержание соответствующих исходных данных позволит осуществлять расчёты в стоимостной форме (в виде ассигнований), спроектировав такие расходы на стадии жизненного цикла вооружения, а этот перечень избрать как критерий при решении задачи синтеза. При неполном получении состава данных соответствующего перечня позволит уменьшить степень неопределённости и субъективизма, решая задачу выбора путей обеспечения вооружением экспертным путём.

Ключевые слова: вооружение и военная техника, исходные данные, жизненный цикл.

ВСТУП

Країни Варшавського договору, які в кінці ХХ століття у зв'язку зі зміною політичного курсу виходили з нього, були вимушені проводити власну військово-технічну політику, відмінну від попередньої існуючої. Шляхи розвитку озброєння та військової техніки (ОВТ) таких країн були різні в залежності від існуючих спроможностей промисловості, фінансових можливостей, військово-технічного співробітництва та ін. Відносини між Україною та Російською Федерацією (РФ) з початком агресії проти України мають стійку тенденцію до погіршення. Україна остаточно припинила дружбу і партнерство з 1 квітня 2019 року, що було закріплено договором між Україною і РФ і ратифіковано Верховною Радою України ще у 1998 році.

Враховуючи, що в Збройних Силах (ЗС) України існуючий парк ОВТ за видами і родами військ в переважній більшості створений не власною промисловістю, а також беручи до уваги досвід країн бувшого Варшавського договору, які мали на озброєнні ОВТ, авторський нагляд за яким протягом життєвого циклу (ЖЦ) як розробник здійснювала РФ, то зараз Україна найгостріше потребує вдосконалення власної військово-технічної політики. Питання щодо вибору шляхів забезпечення ОВТ для військових формувань Сектору безпеки і оборони (СБіО) України з кожним наступним днем сьогодення набуває все більшої актуальності, в особливості під час розроблення програм озброєння.

У алгоритмі, що раніше запропоновано авторами [1] у розв'язанні проблеми вибору шляхів забезпечення озброєнням військових формувань, першим є (блок №1) визначення потреби сектору безпеки і оборони (СБіО) України кількісно-якісного стану даного типу ОВТ (або у його складовому виробі). З урахуванням результатів оцінки військової інфраструктури (блок №2) та оцінки підприємств ОПК (блок №3) приймається рішення щодо вибору шляхів забезпечення озброєнням військових формувань, а за неможливості створення ОВТ (або складових виробів) вітчизняними підприємствами ОПК, визначеного у потребі СБіО України, в забезпеченні ними військових формувань розглядаються існуючі альтернативи (блок 4). Всі зазначені оцінки ведуть до порівняльного аналізу, пов'язаного з визначенням вартості етапів життєвого циклу та якості даного типу ОВТ (блоки 5, 6). Кінцевою процедурою запропонованого алгоритму (блок 7) є вибір альтернативного варіанту можливого шляху оснащення військових формувань даним типом ОВТ.

В зазначеній статті [1] та запропонованому алгоритмі, що в спрощеному вигляді показано на рис. 1, як в онтологічній моделі, виникає необхідність по кожному з перелічених блоків 1...6, як окремих частин невирішеної загальної проблеми, сформувані перелік і зміст вихідних даних для кожного блоку. При оцінці у блоках 1...6 та переборі найкращих варіантів вибору шляхів забезпечення ОВТ військових формувань зазвичай використовується тріада показників: ефект, що досягається (*W*), витрати ресурсів (*C*) та час (*T*).

W – показник результату, що відображає ступінь забезпечення військ ОВТ відповідного технічного рівня до потреби в цьому ОВТ.

Показник C має вартісну форму та відображає матеріальний зміст заходів із забезпечення військ.

T – часовий показник, що виражає тривалість заходу, що виконується.

Залежно від задачі, що вирішується, зазвичай, один з перелічених показників обирається в якості критерію, а два інші виступають в якості обмежень:

$$W \rightarrow \max \text{ при } C \leq C_{\text{виділен}}, T \leq \tau_{\text{задан}};$$

$$C \rightarrow \min \text{ при } W \geq W_{\text{потреб}}, T \leq \tau_{\text{задан}};$$

$$T \rightarrow \min \text{ при } W \geq W_{\text{потреб}}, C \leq C_{\text{виділен}}.$$

Постановки задач вибору можуть бути різними стосовно блоків 1...6, що не було розглянуто в [1]. Якщо відомі обсяг наявних ресурсів та ціль заходу, то вирішується задача підвищення ефективності. Задачі з підвищення економічності здійснюються, коли задано результат діяльності і вирішується задача вибору характеристик ОВТ, при яких витрати ресурсів на досягнення цілі прямують до мінімуму. У деяких випадках можуть виникнути модифікації таких задач.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Процес формування переліку і змісту вихідних даних можливо покращити під час визначення шляхів забезпечення озброєнням військових формувань, спроектувавши заходи у блоках 1...6 (рис. 1) на існуючі стадії типового ЖЦ виробів, що є завданням даної статті.

Визначаючи вихідні дані для вибору шляхів забезпечення СБіО конкретним типом ОВТ, розглянемо кожний елемент в площині існуючих стадій ЖЦ як складну систему організаційного типу, а окремі його стадії як підсистеми, що мають системні ознаки і здатні виконувати одне із завдань системи. Синтез є найбільш важливим і відповідальним етапом дослідження складних систем, а його задачею є вибір таких значень і параметрів, щоб отримати необхідні функціональні характеристики системи. Такі задачі можуть бути детермінованими,

стохастичні та такі, що розв'язуються в умовах невизначеності

Враховуючи, що потребу у відповідних видах ОВТ формує Генеральний штаб ЗС України, розглянемо першим блок 2 (рис. 1), при формуванні переліку і змісту вихідних даних та обмежившись в цій статті лише цим, а в наступних дослідженнях продовжимо аналіз інших блоків. Оцінюючи військову інфраструктуру та враховуючи тріаду показників W , та T , здійснимо її проектування на стадію ЖЦ, яка за відповідними етапами та видами найближче знаходиться до стадії ЖЦ “експлуатація”. В цю стадію входять такі види: приймання в експлуатацію, штатна експлуатація, припинення експлуатації (рис. 2).

Знехтувавши прийманням в експлуатацію та припиненням експлуатації ОВТ, здійснимо аналіз самої найбільш витратної частини – штатної експлуатації, беручи до уваги лише методичну складову приймання в експлуатацію – оцінку технічного рівня (досконалості) нового зразка [2 – 4].

В “Теорії озброєння...” [5] стадію життєвого циклу “експлуатація” розглянуто в площині витрат, а саме: початкові витрати на технічну експлуатацію ОВТ; витрати на технічну експлуатацію ОВТ; витрати на навчальні заняття з бойової та технічної підготовки. Тому, співставляючи ці витрати з етапами експлуатації виробів, можна розглянути їх як перелік вихідних даних при оцінці військової інфраструктури, що схематично відображено на рис. 3.

Спроектувавши на ЖЦ цей перелік вихідних даних, матимемо змогу на відповідних етапах: отримати; частково отримати; не отримати статистичні дані, що в свою чергу впливатиме на здійснення синтезу відповідними методами: аналітичним (строгим математичним), імітаційним (припускає імовірність), евристичним (строгим неформалізованим).

Визначимо оцінку військової інфраструктури як показник:

$$K_{\text{ОВТ}} = \sum_{j=1}^{j=k} K_{\text{КДВ}j} \left(\frac{\sum_{i=1}^{i=n} A_{ji\text{ДЗ}}}{A_{ji\text{НЗ}}} \right), \quad (1)$$

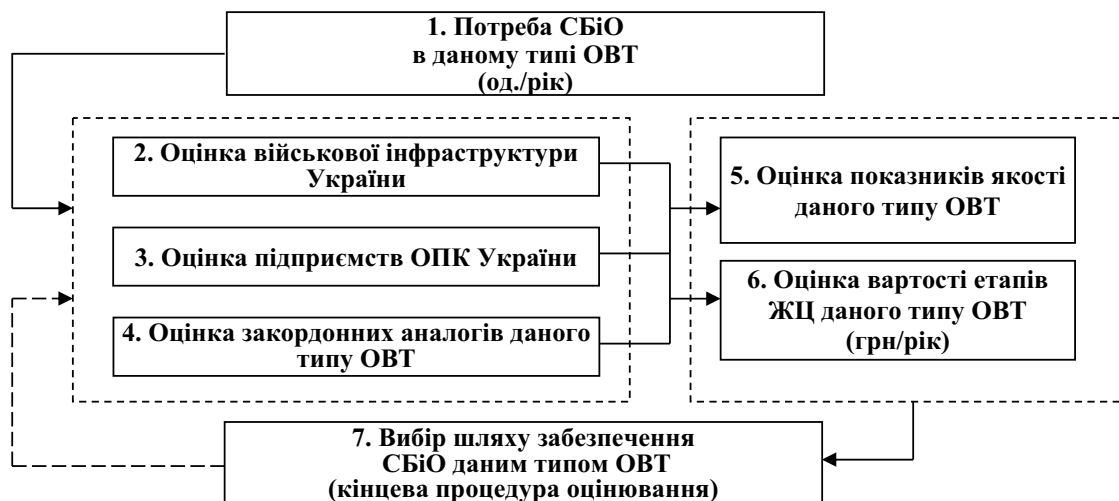


Рис. 1. Алгоритм аналізу факторів (критеріїв), що впливають на вибір шляху забезпечення відповідним ОВТ за визначеною потребою

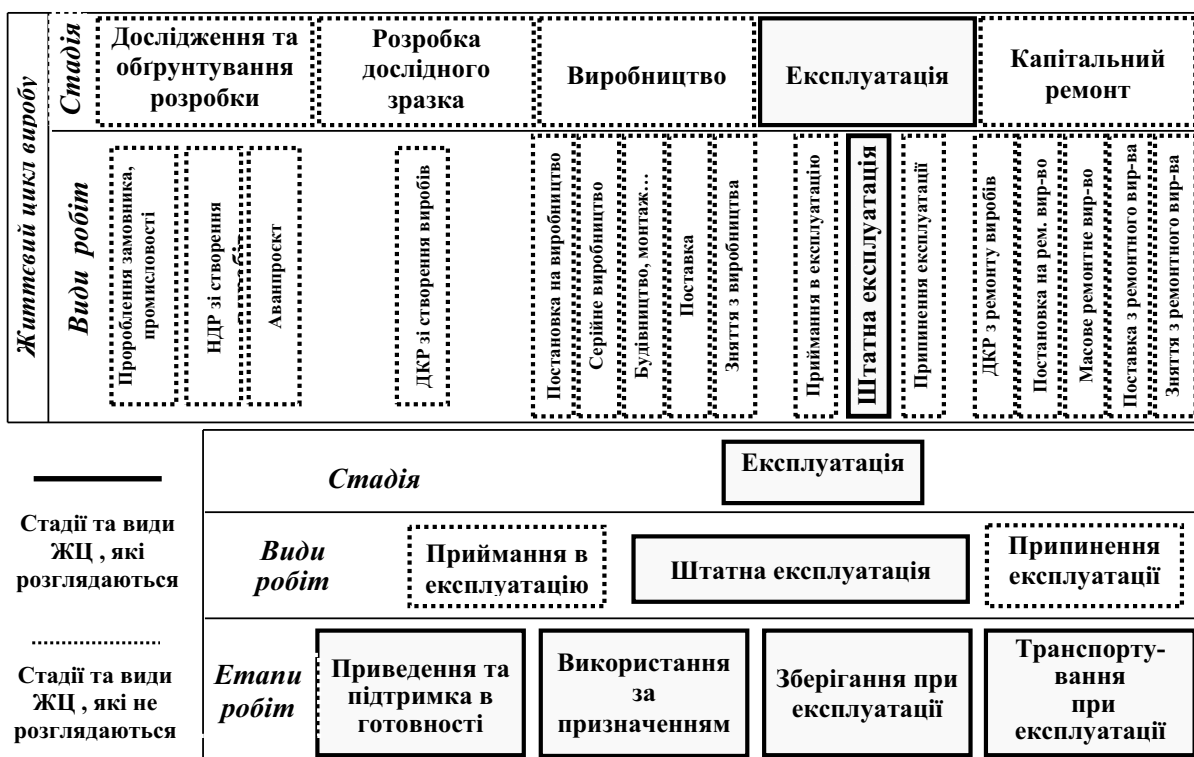


Рис. 2. Виокремлення стадії ЖЦ відповідно до оцінки військової інфраструктури

де: $K_{ОВІ}$ – коефіцієнт оцінки військової інфраструктури;

$K_{КДВj}$ – коефіцієнт досконалості витрат ЖЦ «експлуатація» досліджуваного зразка за j – переліком витрат;

$A_{jЛДЗ}$ – числове значення за j – переліком витрат, i – змістом витрат досліджуваного зразка;

$A_{jНЗ}$ – числове значення за j – переліком витрат, i – змістом витрат наявного зразка;

k – кількість витрат на стадії ЖЦ «експлуатація»;

n – зміст в i -групі переліку витрат.

Розглянемо вихідні дані як витрати переліку, що зображені на схемі $A_{jЛДЗ}$ відповідних i, j – тих (рис. 3).

$$A_{1ЛДЗ} = \frac{1}{\tau_{рік} \times N^{те}} \times \sum_{i=1}^{N_{інф}} C_i^{інф} \times a_{N^{те}}, \quad (2)$$

де: $N^{те}$ – середня кількість зразків ОВТ у парку при використанні об'єктів інфраструктури для забезпечення технічної експлуатації;

$a_{N^{те}}$ – показник, що характеризує частку часу роботи об'єктів;

$N_{інф}$ – кількість об'єктів інфраструктури, необхідних для виконання технічного обслуговування і ремонту та бойової підготовки парку зразків ОВТ, що розглядаються;

$C_i^{інф}$ – вартість i -го об'єкту інфраструктури;

$\tau_{рік}$ – розрахункове річне напрацювання ОВТ (одиниця виміру напрацювання зразка ОВТ) [5].

$$A_{1ЛДЗ} = \frac{1}{\tau_{рік} \times N_{фін}^{те}} \times \left(\sum_{i=1}^{N_{спец}} A_i^{спец} (N_{фін}) \times C_i^{навч} \times a_{N_{фін}^{те}} \right), \quad (3)$$

де: $N_{спец}$ – кількість спеціальностей особового складу, необхідних для виконання технічного

обслуговування і ремонту та бойової підготовки парку зразків ОВТ, що розглядаються;

$A_i^{спец} (N_{фін})$ – кількість спеціалістів i -ої спеціальності, необхідних для технічного обслуговування і ремонту та бойової підготовки $N_{фін}$ одиниць ОВТ;

$C_i^{навч}$ – вартість навчання спеціаліста i -ої спеціальності [5].

$$A_{1ЛДЗ} = \frac{1}{\tau_{рік} \times N_{фін}^{те}} \times \left(\sum_{i=1}^{N_{зтобп}} n_i^{зтобп} (N_{фін}) \times C_i^{зтобп} \times a_{N_{фін}^{те}} \right), \quad (4)$$

де: $N_{зтобп}$ – кількість типів засобів технічного обслуговування і контролю, необхідних для виконання ТОіР та БП парку зразків ОВТ, що розглядаються;

$n_i^{зтобп} (N_{фін})$ – кількість одиниць засобів технічного обслуговування і контролю та бойової підготовки i -го типу, необхідних для технічного обслуговування і бойової підготовки $N_{фін}$ одиниць ОВТ [5].

$$A_{2ЛДЗ} = \frac{\tau_{рік}^1 \times \sum_{i=1}^{N_{л.нз}} C_i^{спец.нз} \times A_i^{спец.нз}}{\tau_{рік} \times N_{фін}} \times a_{N_{фін}^{нз}}, \quad (5)$$

де: $N_{фін}$ – середня кількість зразків ОВТ у парку, що використовуються й утримуються;

$A_i^{спец.нз}$ – кількість спеціалістів i -ої спеціальності, необхідних для забезпечення використання й утримання ОВТ;

$C_i^{л.нз}$ – середня вартість людино-години спеціалістів i -ої спеціальності (з урахуванням усіх відрахувань з заробітної плати та накладних витрат), зайнятих у використанні й утриманні ОВТ;

$\tau_{рік}^л$ – річний фонд робочого часу спеціалістів, необхідних для використання й утримання ОВТ;

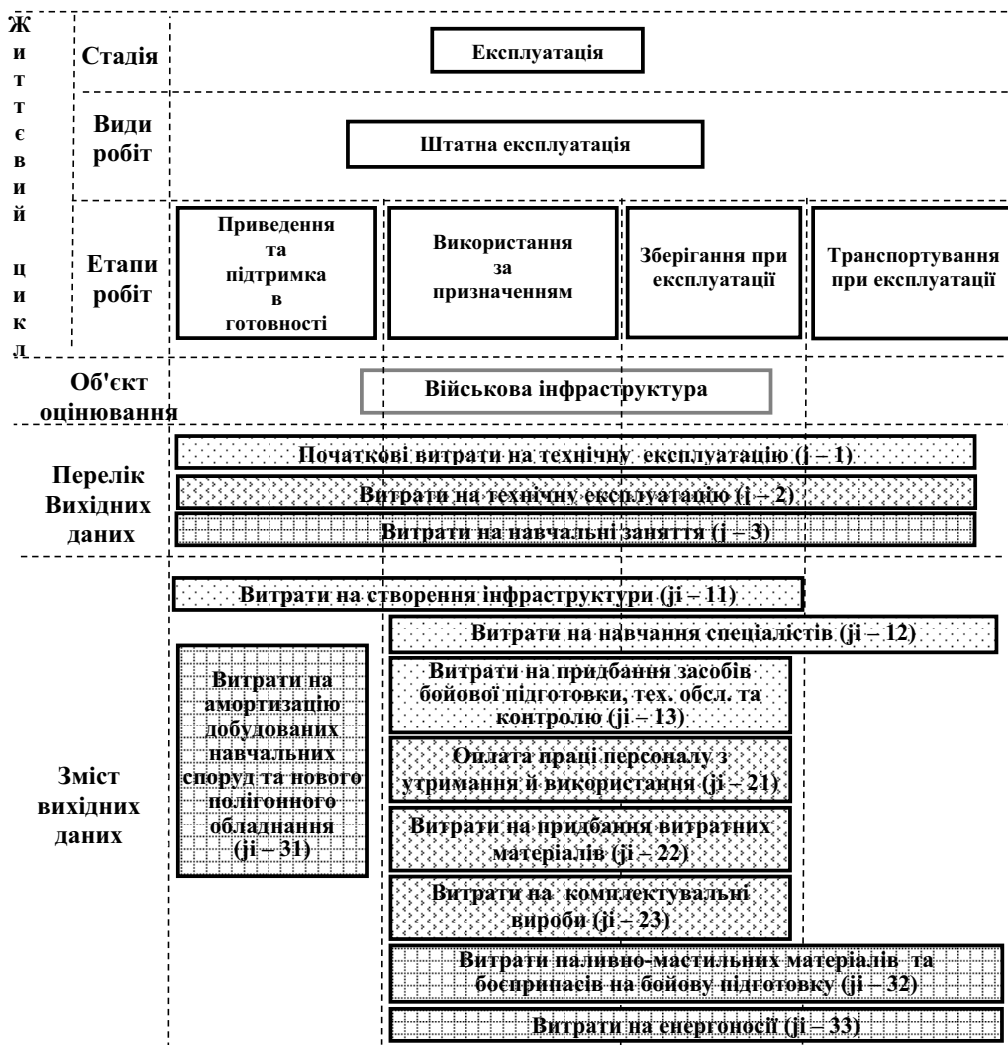


Рис. 3. Проекція оцінки військової інфраструктури на стадію ЖЦ “експлуатація”

$a_{\Phi_{\text{ФН}}^{\text{НЗ}}}$ – показник, що характеризує частку часу роботи об’єктів інфраструктури для використання й утримання ОВТ [5].

$$A_{22ДЗ} = \frac{1}{\tau_{\text{рік}} \times T_{\text{т.с}}} \times \sum_{i=1}^{m_{\text{пто}}} \left(\left[\frac{\tau_{\text{рік}} \times T_{\text{т.с}} - 1}{\tau_i^{\text{пто}}} \right] \times C_i^{\text{пто}} \right), \quad (6)$$

де: $T_{\text{т.с}}$ – термін служби зразка ОВТ (років);
 $m_{\text{пто}}$ – кількість робіт періодичного ТО, передбачених вимогами до планового ТО;
 $\tau_i^{\text{пто}}$ – періодичність виконання i -ї роботи періодичного ТО;
 $C_i^{\text{пто}}$ – середня вартість матеріалів, що витрачаються при усуненні одиничної відмови комплектувального виробу i -го типу [5].

$$A_{23ДЗ} = \frac{1}{\tau_{\text{рік}} \times T_{\text{т.с}}} \times \sum \{i \in (1 \dots N_{\text{кв}}) | E_i = \text{ТЕР}\} \left(n_i \times \left[\frac{\tau_{\text{рік}} \times T_{\text{т.с}} - 1}{\tau_i^{\text{рес}}} \right] \times (C_i + C_i^{\text{ЗМ}}) \right), \quad (7)$$

де: $N_{\text{кв}}$ – кількість типів КВ у складі зразка ОВТ;
 E_i – метод технічної експлуатації комплектувального виробу i -го типу: $E_i \in \{ \text{ТЕР (до ремонту, після ремонту, після закінчення строку служби)} \}$;
 $\tau_i^{\text{рес}}$ – призначений ресурс комплектувального виробу i -го типу;

$C_i^{\text{ЗМ}}$ – середня вартість матеріалів, що витрачаються при роботі з відновлення ресурсу КВ i -го типу [5].

Амортизаційні витрати – це витрати на компенсацію поступового зношування предметів або об’єктів великої вартості, що використовуються при експлуатації (будівлі, спеціальні машини для обслуговування, аеродромне та паркове обладнання тощо).

$$A_{31ДЗ} = C_{\text{аморт.н.і}} + C_{\text{аморт.дод.і}}, \quad (8)$$

де: $C_{\text{аморт.н.і}}$ – вартість витрат на утримання та амортизацію наявних засобів інфраструктури;

$C_{\text{аморт.дод.і}}$ – вартість витрат на утримання та амортизацію додаткових засобів інфраструктури [5].

$$A_{32ДЗ} = \frac{\sum n_{i,\text{рік}}^{\text{бпр.нз}} \times C_i^{\text{бпр}}}{\tau_{\text{рік}}^{\text{нз}}} + \frac{C_{\text{пмм}} \times \tau_{\text{рік}}^{\text{нз}}}{\tau_{\text{рік}}}, \quad (9)$$

де: $n_{i,\text{рік}}^{\text{бпр.нз}}$ – річне витрачання боєприпасів i -го типу, що планується під час навчальних занять усіх видів;

$C_i^{\text{бпр}}$ – середня вартість боєприпасів i -го типу, що витрачаються при використанні зразка ОВТ;

$\tau_{\text{рік}}^{\text{нз}}$ – річне напрацювання зразка ОВТ, що планується під час навчальних занять усіх видів (година польоту, кілометр пробігу, мото-година й т.п.) [5].

$$C_{\text{пмм}} = \sum C_i^{\text{пм}} \times C_i^{\text{пм}} + \sum C_i^{\text{мм}} \times C_i^{\text{мм}}, \quad (10)$$

де: $C_{\text{пмм}}$ – вартість паливно-мастильних матеріалів на одиницю напрацювання зразка ОВТ (година польоту, кілометр пробігу, мото-година й т.п.);

$C_i^{\text{пм}}$ – вартість одиниці виміру пального i -го типу;

$C_i^{\text{мм}}$ – вартість одиниці виміру мастила i -го типу;

$\Pi_i^{\text{пм}}$ – показники витрачання пального i -го типу при використанні зразка ОВТ на одиницю напрацювання (км, час польоту тощо), $\Pi_i^{\text{пм}} = \Pi_{i,\text{рух}}^{\text{пм}} + \alpha_i \Pi_{i,\text{рух}}^{\text{пм}}$;

$\Pi_{i,\text{рух}}^{\text{пм}}$ – питома витрачання зразком ОВТ пального на одиницю напрацювання (година польоту, кілометр пробігу, мото-година й т.п.) при роботі у русі;

$\alpha_i \cdot \Pi_{i,\text{рух}}^{\text{пм}}$ – питома витрачання зразком ОВТ пального на одиницю напрацювання (година польоту, кілометр пробігу, мото-година й т.п.) при роботі двигуна на місці;

α_i – відношення часу праці двигуна зразка ОВТ на місці до часу роботи у русі;

$\Pi_i^{\text{мм}}$ – показники витрачання мастила i -го типу при використанні зразка ОВТ на одиницю напрацювання (година польоту, кілометр пробігу, мото-година й т.п.),

$$\Pi_i^{\text{мм}} = a_i^{\text{мм}} \Pi_i^{\text{пм}},$$

$a_i^{\text{мм}}$ – коефіцієнт витрачання мастила i -го типу по відношенню до витрачання пального $\Pi_i^{\text{пм}}$ [5].

$$A_{\text{ззд}} = \frac{C^{\text{ен}} \times \sum N_i^{\text{інф.нз}} \times \Pi_i^{\text{інф.нз}} \times \tau_{i,\text{рік}}^{\text{інф.нз}}}{\tau_{\text{рік}} \times N_{\text{фн}}} \times a_{N_{\text{фн}}^{\text{нз}}}, \quad (11)$$

де $C^{\text{ен}}$ – середня вартість однієї кВт-години електричної енергії;

$\Pi_i^{\text{інф.нз}}$ – енергетична потужність об'єктів інфраструктури кожного типу, необхідних для забезпечення навчальних занять;

$N_i^{\text{інф.нз}}$ – кількість об'єктів інфраструктури кожного типу, необхідних для забезпечення навчальних занять [5].

ВИСНОВКИ

Супроводження зразків озброєння проводиться на стадіях їх ЖЦ і здійснюється на основі координації замовника, споживача з широким колом організацій від головного розробника до співвиконавців, що розробляють окремі підсистеми, та тих, хто здійснить утилізацію зразків в цілому. Це призводить до появи проблеми – реалізації оптимального синтезу такої складної системи.

Беручи початок на етапах розроблення, коли потрібна жорстка синхронізація робіт у максимально стислі строки, в умовах, коли співвиконавці вибирають свої рішення, виходячи з локальних цілей, можуть виникнути конфліктні ситуації. Це не дозволяє спрямувати зусилля на досягнення екстремуму цільової функції системи в цілому. Тому труднощі прямого рішення задачі оптимального синтезу пов'язані з взаємозв'язками складної системи (між системами нижчого рівня та елементами системи), обмеженими можливостями в програмуванні,

побудови математичної моделі та викликають необхідність пошуку шляхів рішення цієї проблеми.

Маючи відповідний перелік і зміст вихідних даних, що були розглянуті на стадії ЖЦ “експлуатація” (блок 2, рис. 1) як критерії задачі синтезу, та попередньо обравши критерії обмежень, можливо ввести статистичні дані в блок 6 (рис. 1). При неповному отриманні таких даних запропонований підхід все ж надає можливість мати їх частково та, використовуючи статистичні дані щодо технічної досконалості досліджуваного зразка (блок 5, рис. 1), покращити процес вибору шляхів забезпечення ОВТ в середньостроковій перспективі (блок 7, рис. 1), використовуючи відповідні сучасні наукові методи. Навіть, якщо ці методи не будуть аналітичними, то запропонований перелік і зміст вихідних даних допоможе вирішувати завдання вибору шляхів забезпечення ОВТ методом експертної оцінки, зменшивши таким чином стан невизначеності.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Борохвостов І. В., Білокур М. О. Визначення критеріїв та методів оцінювання шляхів забезпечення військових формувань озброєнням та військовою технікою // Озброєння та військова техніка. – Київ: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2018. Вип. 3(19). С. 3–8.
2. Буренок В. М., Погребняк Р. Н., Скотников А. П. Методика обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. М.: Машиностроение, 2010. 368 с.
3. Семенов С. С., Харчев В. Н., Иоффин А. И. Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники. М.: Радио и связь, 2004. 552 с.
4. Нор П. І., Борохвостов І. В. Методика комплексної порівняльної оцінки зразків озброєння та військової техніки // Озброєння та військова техніка. Вип. 3(11). – Київ: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2016. С. 14–18.
5. Теорія озброєння. Науково-технічні проблеми та завдання. Том 6. Воєнно-економічний аналіз життєвого циклу озброєння та військової техніки: теоретико-методологічні засади: монографія / Чепков І. Б. та ін. Київ: Видавничий дім Дмитра Бураго, 2018. 475 с.

REFERENCES

1. Borohvostov, I. V. and Bilokur, M. O. (2018), “Vyznachennya kryteriyiv ta metodiv otsynuyvannya shlyakhiv zabezpechennya viys'kovykh formuvan' ozbroyennyam ta viys'kovoyu tekhnikoyu” [Determination of the criteria and methods for assessment of the ways on procurement of the military teams with armament and military equipment], *Ozbroyennya ta viys'kova tekhnika*, K. № 3. Pp. 3–8.
2. Burenok, V. M., Pogrebnyak, R. N. and Skotnikov, A. P. (2010), “Metodika obosnovaniya perspektiv razvitiya sredstv vooruzhennoy bor'by obshchego naznacheniya” [Methodology on grounding of the development prospects of general intention means for militant actions], *Mashinostroyeniye*, M. 368 p.

3. Semenov, S. S., Kharchev, V. N. and Ioffin, A. I. (2004), "Otsenka tekhnicheskogo urovnya obraztsov vooruzheniya i voyennoy tekhniki" [Armament and military technic items technical level assessment], *Radio i svyaz*, M. 552 p.
4. Nor, P. I. (2016), "Metodyka kompleksnoyi porivnyal'noyi otsinky zrazkiv ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki" [Methodology of complex comparative assessment of armament and military equipment items], *Ozbroynennya ta viys'kova tekhnika*, K. Iss. 3(11). Pp. 14–18.
5. Chepkov, I. B., Zubarev V. V., Borohvostov V. K. etc. (2018), "Teoriya ozbroynennya. Naukovo-tekhnichni problemy ta zavdannya. Tom 6. Voenno-ekonomichnyy analiz zhyttyevoho tsyклу ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki: teoretyko-metodolohichni zasady: monohrafiya" [Armament theory. Scientific-technical problems and tasks. Vol. 6. Military-economical analysis of armament and military equipment life cycle: theoretical and methodological-bases: monograph], *Vydavnychyy dim Dmytra Buraho*, K. 475 p.

Відомості про автора:**Білокур Микола Олександрович**ад'юнкт науково-організаційного відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
Київ, Україна<https://orcid.org/0000-0002-2954-8497>**Information about the author:****Mykola Bilokur**

Doctoral Student

of Scientific Organizational Department
of Central research institute of weapons and military equipment of
the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine<https://orcid.org/0000-0002-2954-8497>

Стаття надійшла до редколегії 21.02.2019 р.

УДК 32.019.5:327.88+355.014

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4\(24\).93-99](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4(24).93-99)

О. О. БІЛОБОРОДОВ, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0003-3166-2659>

А. С. ДОВГОПОЛИЙ, доктор технічних наук,
 професор

<https://orcid.org/0000-0001-9227-9771>

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

Технології інформаційно-психологічних війн та інформаційно-психологічна зброя

Реаліями сьогодення став широкий вплив сучасних технологій інформаційно-психологічного впливу. У статті проаналізовані технології інформаційно-психологічного впливу на людину і суспільну свідомість. Розглянуто погляди на методичні та організаційні основи ведення інформаційно-психологічних війн. Проаналізовано застосування методів впливу на підсвідомість і методи прямого впливу на психофізіологічний стан людини. Розглянуто методи і засоби інформаційно-психологічної боротьби, що використовуються ворожими режимами по відношенню до України і власного населення.

Ключові слова: інформаційно-психологічна війна, протиборство, методи і засоби ведення інформаційної війни, маніпулювання.

Реаліями сьогодення стало широке применение современных технологий информационно-психологического воздействия. В статье проанализированы технологии информационно-психологического воздействия на человека и общественное сознание. Рассмотрены взгляды на методические и организационные основы ведения информационно-психологических войн. Проанализировано применение методов воздействия на подсознание и методы прямого воздействия на психофизиологическое состояние человека. Рассмотрены методы и средства информационно-психологической борьбы, использующиеся вражескими режимами по отношению к Украине и собственному населению.

Ключевые слова: информационно-психологическая война, противоборство, методы и средства ведения информационной войны, манипулирование

ВСТУП

Класичні війни, проксі війни, гібридні, мережеві та мережецентричні війни є реаліями сьогодення. У наш час економічні, фінансові та інформаційні інструменти мають рушійну силу сумірну, або навіть більшу від застосування традиційної сили. Інформаційно-психологічна війна (ІПсВ) може визначатись як масштабне застосування засобів і методів інформаційно-психологічного впливу по відношенню до населення країни, окремих соціальних груп чи особистостей, та захист від аналогічних дій в свою адресу, реалізованим державою чи іншим суб'єктом міжнародної політики для забезпечення реалізації своїх інтересів [1].

Розвиток мікроелектроніки призвів до поширення серед населення засобів впливу, а методи впливу все більше автоматизуються й іноді стають автономними. Останні дослідження впливу факторів середовища призвели до появи технологій прямого впливу на психофізіологічний стан людини, такі як акустичні і радіочастотні.

Метою статті є представлення результатів аналізу технологій інформаційно-психологічного впливу на людину та суспільну свідомість, аналіз технологій інформаційно-психологічної зброї.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Погляди на методичні та організаційні основи ведення ІПсВ. Основними цілями ІПсВ зазвичай є [1 – 2]: забезпечення прийняття рішень і спонукання до виконання дій влади країни-жертви, які б задовольняли потреби країни-агресора;

підірив легітимності політичної влади та міжнародного авторитету країни-жертви;

дестабілізація ситуації у країні-жертві, провокування політичних протестів, соціальних конфліктів, підірив морально-психологічного стану населення країни-жертви;

підірив обороноздатності країни-жертви та боездатності її збройних сил;

підтримка дій внутрішніх сил, направлених на знищення чи завдання шкоди своїй державі, у тому числі шляхом корумпування влади й політичної еліти;

заміна соціально-культурної ідентичності всього населення або його частини у країні-жертві, зміна національних цінностей та засад державотворення.

В якості основних об'єктів інформаційно-психологічного впливу у країні-жертві є політична еліта, високорядовці або ключові фігури, окремі соціальні групи та населення країни у цілому.

Вплив на свідомість. Пропагандистське бачення світу, жорсткість масмедіа, перетворення їх в психологічну зброю потребують розуміння механізмів впливу на особистість, великі групи людей та цілі народи. Відповідно до теореми Томаса [3] “щоб спровокувати необхідну поведінку або настрої людей, необхідно створити реальність, яка буде уявлятися людям істинною”. Масштабну реальність для мас людей можуть створити масмедіа. Сфабриковану реальність люди повинні

прийняти добровільно та бути впевненими, що це і є їх погляди на світоустрій.

Медіаманіпулювання. Власники засобів масової інформації створюють, обробляють, спритно оперують і цілком контролюють поширення інформації, яка визначає уявлення людей, їх установки, а в кінцевому рахунку і поведінку. Навмисно фабрикуючи повідомлення, які спотворюють реальну соціальну дійсність, вони перетворюються в маніпуляторів свідомості.

При медіаманіпулюванні використовуються наступні основні фактори:

коротка пам'ять людини;

для людей немає об'єктивності, якщо вони втягнуті у конфлікт, який загрожує їх інтересам і цінностям;

людині для осмислення явища необхідно мати назву цього явища, а назва в прихованому вигляді пояснює і програмує реакцію на нього. Через слова і поняття створюється картина світу.

Для забезпечення медіаманіпулювання основними методами поширення інформації є фрагментація та негайність.

Роль *телебачення* у медіаманіпулюванні виходить з того, що слова в багато разів переконливіші, якщо вони підкріплені картинкою або синхронізовані з відеорядом. Сфабриковані телесюжети, суміш правди, напівправди та інсценування, все це для глядачів є "достовірною" реальністю [3]. Для подачі "запрограмованих" матеріалів створюються передачі, які зрозумілі за змістом та не потребують інтелектуальної напруги, у той же час будоражать емоції. Переважання емоцій над розумом – це особливість поведінки людини.

Інтернет став відносно новим інструментом соціальної інженерії з невідомими раніше моделями прийняття рішень, який змінює пізнавальний базис сучасної людини, він визначає зміст інформації, яка доходить до людей по всьому світу.

Політична активність соціальних груп поступово зміщується у соціальні мережі. Інструменти інтернету та соціальних мереж з допомогою мобільних комп'ютерів та засобів зв'язку дозволяють швидко мобілізуватись великим масам людей, отримувати інструкції і діяти синхронно.

Технології підриву легітимності влади в інтернет просторі постійно вдосконалюються, що створює проблеми для системного протиборства подібній підривній діяльності. Ці технології деформують масову свідомість населення країни-жертви і викликають недовіру, презирство й ненависть до діючої влади. Не дивлячись на те, що в інтернеті є системні центри генерації контенту, користувачі інтернету і соціальних мереж вважають, що контент створюється такими ж рядовими користувачами, як і вони, тому довіряють цьому контенту і не схильні до перевірки достовірності новин і фактів, наданих у мережах.

Психометрія та Big Data. До початку кібернетизації суспільства у світовій практиці для визначення психологічних можливостей людини використовували результати психометричних досліджень, проведених шляхом анкетування. Після досліджень склався

психометричний портрет (профіль) людини, на основі якого прогнозувалась поведінка людини в екстремальних умовах, у колективі та інше.

Психологічний профіль дозволяє вивчити всі пріоритети людини. Активна фаза впливу на людину полягає у підготовці адресного звернення з інформацією, яку у своїх думках очікує людина, тому можливо очікувати прогнозовану реакцію.

Розвиток інтернету, комп'ютерних баз даних та соціальних мереж дали доступ до інформації про людину без її згоди. Як показано у роботах [4–6] комплексний аналіз інформації про людину з соціальних мереж, інтернету, матеріалів з податкової служби, інформації зі смартфонів та інших джерел дозволяє проводити цільовий психологічний аналіз поведінки людини без анкетування. Наприклад, компанія Cambridge Analytica розробила модель, яка дозволяє оцінити особистість людини та здійснювати вплив на великі групи людей залежно від типу особистості [5]. Подібні технології (Social Data Hub, Fubutech) використовуються для вирішення завдань рекламними агентствами, аналітиками, банками, спеціалістами з маркетингу у соціальних мережах, політиками та іншими професіоналами [7].

Таким чином, технології медіаманіпулювання на телебаченні, вплив на поведінку людей через соціальні мережі, використання психологічного профілю людини у результаті психоаналізу за інформацією Big Data для управління поведінкою людини і є різновидом інформаційно-психологічної зброї.

Розвиток методів впливу на свідомість людини та суспільну свідомість призвів до формування ще більш витончених теорій і технологій ППсВ, які є основою так званої *консцієнтальної війни* – війни з руйнації свідомості на основі спотворення здібності людини до самоідентифікації і належності до певної культурно-історичної традиції. Консцієнтальна війна, на відміну від відвертих військових дій, має ціллю не захоплення чужих територій, а націлена на захоплення свідомості людей, які проживають на цих територіях. Засоби ведення консцієнтальних війн, крім зазначених, включають кінематограф, комп'ютерні ігри тощо [8].

Вплив на підсвідомість. *Нейролінгвістичне програмування* (НЛП) – вплив на думки людини на свідомому та підсвідомому рівнях, який націлений на зміну поведінки шляхом формування наперед заданих програм поведінки у замаскованій вербальній формі, включаючи техніки гіпнозу та технічні засоби інформаційного впливу. НЛП може бути потужною інформаційно-психологічною зброєю, в основу якої покладена нейрологія, психофізіологія, лінгвістика, кібернетика і теорія комунікацій.

Технології *психозондування* (психодіагностика) і *психокорекції* – принципово новий напрямок у науці, який дозволяє діагностувати і коригувати психофізіологічний стан людини шляхом доступу до семантичної пам'яті. Академік І.В. Смірнов розробив способи і методи впливу на психіку, які дозволяють управляти психофізіологічним станом людини [9]. Психозондування виявляє приховану у підсвідомості інформацію, яка є

причиною поведінки та вчинків людини. Психокорекція – це коригування внутрішньої картини світу людини, ініціація у людини стану і поведінки, адекватних заданій програмі. Психокорекція заснована на нейролінгвістиці – програмуванні за допомогою спеціально підготовлених мовних конструкцій – сугестивних фабул, тому ці технології мають назви психолінгвістика та психосемантика.

Можливо допустити використання групової психокорекції через телебачення та радіо, або при масових заходах, для чого, як і при методиках Cambridge Analytica та Social Data Hub, формуються відповідні фабули для груп людей з однаковими психологічними профілями.

Враховуючи мініатюризацію і поширення засобів доставки інформації та комп'ютеризацію соціальної активності, *технологічними основами* інформаційно-психологічних війн стають спеціалізовані програмно-апаратні і програмно-технічні комплекси обробки і генерування медіаконтенту. Серед засобів активного впливу на противника можна виділити програмні компоненти для автоматизованого виконання завдань:

- реєстрації ботів у соціальних мережах та підтримки їх активності;

- генерування спеціальних (негативних, насмішкуватих, презирливих) коментарів;

- відслідковування важливих подій за участю представників противника, автоматизованої організації тролінг-атак, заходів з висміювання напрямків і результатів діяльності, викриття реальних (негативних) мотивів діяльності;

- виявлення родинних або дружніх зв'язків і контактів посадовців противника з комерційними структурами;

- моніторингу динаміки корупційних фінансових потоків посадовців противника.

До основних засобів протидії впливу з боку противника можна віднести програмні компоненти для автоматизованого виконання завдань:

- моніторингу медійного контенту, формування текстового ряду для відеоконтенту, аналізу отриманих даних;

- виявлення активності противника щодо привертання уваги до визначених подій, заходів тощо;

- контролю активності ботів противника;

- виявлення маніпулятивних заголовків, матеріалів, посилів;

- виявлення фейкових новин і матеріалів, контроль достовірності першоджерел;

- блокування небажаного (забороненого) контенту (технології DSI, firewall);

- всєбічного аналізу і візуалізації результатів;

- підтримки прийняття рішень щодо активної протидії впливу противника.

Останні дослідження впливу різних фізичних факторів показали можливість їх використання для *впливу на психофізіологічний стан* людини, формування у населення бажаних психічних станів, синхронізації задіяння факторів впливу із суспільно важливими заходами.

Вплив на людину акустичними засобами. Особливо небезпечним є вплив на людину акустичних коливань

інфразвукового діапазону (до 16 Гц), які здатні викликати [10] відчуття стомлення, підвищення артеріального тиску, головний біль, вестибулярні порушення, несвідомий стан тривоги, відчаю і жаху, призводять до епілептичних нападів. Знижується гострота зору і слуху, змінюється ритм дихання і серцевих скорочень. Спостерігаються випадки порушення периферійного кровообігу, непритомного стану, запаморочення, нудоти, “морської хвороби”, порушення центральної нервової системи, порушення травлення, зниження слухової чутливості, зміни у периферійному кровообігу. При великій потужності можуть бути досягнуті летальні наслідки внаслідок різкого порушення функцій окремих органів людини.

Постійний вплив акустичних коливань *звукового діапазону* (16–20 кГц) змінює біохімічні процеси у мозковій діяльності через вплив на медіатори (речовини, які передають нервові імпульси в мозку) [11]. Дослідження свідчать про вплив звуку на електрохімічні характеристики тіла людини (зміна його електричного опору) [12]. Неспецифічна дія звуку на організм людини пов'язана із впливом на серцево-судинну, нервову та інші системи.

Систематичний вплив низькочастотного *ультразвуку* (20–100 кГц) (як і високочастотного шуму) викликає [10] функціональні порушення нервової (центральної і периферійної), серцево-судинної і ендокринної систем, слухового і вестибулярного аналізаторів, ендокринні і гуморальні відхилення від норми. Останні дослідження свідчать про можливість впливу низькоінтенсивним ультразвуком на процеси мислення і прийняття рішень [13].

Слід відмітити, що для акустичного впливу майже не досліджено наслідки модуляції несучої частоти на стан організму людини.

Хоча потужні акустичні засоби офіційно призначені для передачі звукових даних (команд, сигналів оповіщення) на великі відстані, але досвід застосування однозначно свідчить про їх призначення для впливу на психофізіологічний стан людини. Зразки акустичної зброї застосовуються під час антитерористичних (антипіратських) дій (район узбережжя Сомалі [14–17]), у ході поліцейських операцій (Пітсбург, США [18]; Фергюсон, США [18]; Грузія [16]; Ізраїль [14; 16]), а також під час збройних операцій з нав'язування демократії (Афганістан [14]; Ірак [14, 16]).

Вплив на людину радіочастотним випромінюванням. У світі досліджуються питання впливу низькоінтенсивного радіочастотного випромінювання на порушення процесів кровообігу та регулювання артеріального тиску [19], роботу головного мозку та серця [19], стан центральної нервової системи [20], провокування збудження або пригнічення психофізіологічного стану [21]. Основна небезпека полягає у тому, що рівні біоефективного впливу близькі до гранично допустимих, а іноді не перевищують фонові. У такому випадку значно ускладнюється виявлення факту застосування противником таких засобів.

Експериментально підтверджено ефект радіочастотного слуху [22, 23]. На основі зазначеного

ефекту розроблений зразок зброї MEDUSA (Mobile Excess Deterrent Silent Audio, розробник – WaveBand Corporation) [24] для індукування негативних слухових ефектів у противника. Окремі публікації вказують на можливість передачі зазначеним способом речових повідомлень [25].

Під час інцидентів щодо впливу на психофізіологічний стан персоналу дипломатичних представництв США (РФ [26], Куба [25], КНР [25]) розглядалися версії впливу радіочастотним випромінюванням, що свідчить про усвідомлення реальної загрози застосування зразків радіочастотної зброї.

Використання резонансних явищ. Людина, як складна біологічна система, має власні частоти коливань біологічних підсистем. Резонансні ефекти можливо досягати при малих рівнях акустичного або радіочастотного впливу при збігу частот збудження з власними частотами.

Окремі параметри низькоінтенсивного акустичного або електромагнітного випромінювання, яке взаємодіє з біологічними рецепторами, несуть біологічно значущу інформацію. Тому вплив на організм малих інтенсивностей фактору впливу при параметрах (несуча частота, параметри модуляції, енергетичні показники), близьких до резонансних, що викликає відгук біооб'єкта (зміна функціонального стану або динаміки процесів гомеостазу організму), називають *інформаційним впливом* (нетепловим, неенергетичним, управляючим або специфічним).

У літературі наводяться відомості про власні частоти коливань органів і підсистем організму людини [19], частоти випромінювання, що характеризуються інформаційним характером впливу на стан організму людини [19–21, 27], наводяться небезпечні та шкідливі частоти [28], а також частотні параметри для отримання ефекту радіослуху [22, 23].

ВИСНОВКИ

На даний час створено науково-технологічний фундамент ведення інформаційно-психологічних війн. Деякі напрацювання використовуються проти України і є реальною загрозою національній безпеці.

У цілому технології впливу на поведінку являють собою інформаційно-психологічною зброєю, яка, на відміну від звичайної зброї, використовує:

технології медіаманіпулювання у засобах масової інформації;

вплив на людей через соціальні мережі;

управління поведінкою людини з використанням її психологічного профілю;

технології роботи зі свідомістю людини, що спрямовані на поразку і знищення визначених форм і структур свідомості, а також деяких режимів її функціонування (консцієнтальна зброя);

нейролінгвістичне програмування на основі нейрології, психофізіології, лінгвістики, кібернетики і теорії комунікацій;

психодіагностика та психокорекція на основі психолінгвістики, психосемантики та сучасних інформаційних технологій;

технології прямого дистанційного впливу на психофізіологічний стан людини шляхом впливу акустичним або радіочастотним випромінюванням.

Застосування інформаційно-психологічної зброї трансформує свідомість і підсвідомість індивіда, формуючи особистість з наперед заданими параметрами, які задовольняють агресора, роблять непрацездатною систему управління державою противника та його збройні сили. Зазначені обставини потребують створення технологій і засобів протидії.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Смирнов А. А. Информационно-психологическая война. *Свободная мысль*. 2013. №6 (1642). С. 81–96.
2. Почепцов Г. Г. Психологические войны. Киев: Ваклер, 2002. 528 с.
3. Аронсон Э., Пратканис Э. Эпоха пропаганды: механизмы убеждения, повседневное использование и злоупотребление. СПб: прайм-ЕВРОЗНАК, 2003. 384 с.
4. Kosinski, M. Publications. Available at: www.michalkosinski.com/home/publications (accessed 02 August 2017).
5. The Insider. Расследование Das Magazin: как Big Data и пара ученых обеспечили победу Трампу и Brexit. 06.12.2016. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://theins.ru/politika/38490> (дата звернення: 08.08.2017).
6. Did Michal Kosinski's methods facilitate Donald Trump's victory? Big Data & Business Intelligence. Interview with Michal Kosinski. 18 Jan. 2017. Available at: www.cebit.de/en/news/article/michal-kosinski-38402.xhtml (accessed 02 August 2019).
7. Писарев А. SocialDataHub: Как экс-рекламщик сделал бизнес на Big Data и продает услуги бывшим коллегам (и чиновникам). 10.02.2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://incrossia.ru/fly/socialdatahub-kak-eks-reklamshchik-sdelal-biznes-na-big-data-i-prodaet-uslugi-byvshim-kollegam-i-chi> (дата обращения: 15.08.2019).
8. Громько Н. В. Использование информационных технологий в качестве “консциентального оружия”. Восток : альманах. 2005. № 7/8 (31/32). Июль-август. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.situation.ru/app/j_art_984.htm (дата обращения: 10.12.2013).
9. Академик Игорь Смирнов: психотронное оружие, психозондирование – репортаж на РЕН-ТВ. 17.08.2013. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://youtube.com/watch?v=3YiLqtnRi68> (дата обращения: 16.07.2019).
10. Шум, инфразвук и ультразвук как неблагоприятные акустические факторы производства. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://baumanki.net/lectures/3-bezopasnost-zhiznedeyatelnosti-i-ohrana>

- truda/78-osnovy-bzhd/1335-6-shum-infrazvuk-i-ultrazvuk.html (дата обращения: 10.03.2019).
11. Валеологія з основами фізіології. Лекція 4. Вплив звуків на людину. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <http://moodle.ipk.kpi.ua/moodle/mod/resource/view.php?id=39726> (дата звернення: 11.03.2019).
 12. Кацай В. В. Влияние шума электрооборудования на электротехнические характеристики тела человека : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 – Охрана труда (электроэнергетика) / ГОУ ВПО “Южно-Уральский государственный университет”. Челябинск, 2007. 109 с.
 13. The macaque anterior cingulate cortex translates counterfactual choice value into actual behavioral change / E. F. Fouragnan et al. *Nat Neurosci* 22, 2019. Pp. 797–808. DOI: 10.1038/s41593-019-0375-6.
 14. Громова Т. Убойный звук: какое оно, самое “гуманное” оружие в мире? 31 Июля 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.dsnews.ua/future/uboynyy-zvuk-kakoe-ono-samoe-gumannoe-oruzhie-v-mire--31072015090800> (дата обращения: 11.02.2018).
 15. Акустическое оружие: как оно “стреляет”, 25.06.2017. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://russian7.ru/post/akusticheskoe-oruzhie-kak-ono-strelyaet> (дата обращения: 12.12.2017).
 16. Синогина Е. С., Архипов В. А., Шереметьева У. М. Методы и средства борьбы с терроризмом : учебное пособие. Томск: Изд-во Томского гос. педагогического ун-та, 2012. 220 с.
 17. I beat pirates with a hose and sonic cannon. (2007, May 17). BBC News. Retrieved April 16, 2013. Available at: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/6664677.stm (accessed 22 January 2019).
 18. Russon, Mary-Ann. Michael Brown Shooting: What is the LRAD Sound Cannon Being Used on Ferguson Protesters? 15.08.2014. Available at: <http://www.ibtimes.co.uk/michael-brown-shooting-what-lrad-sound-cannon-being-used-ferguson-protesters-1461260> (accessed 07 November 2019).
 19. Методические рекомендации 2.1.10.0061–12. Оценка риска для здоровья населения при воздействии электромагнитных полей (до 300 ГГц) в условиях населенных мест / утв. Главным государственным врачом РФ 13 апреля 2012 г.
 20. Электромагнитные поля и их воздействие на человека. Воздействие на организм. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://bez-emi.ru/vozdeystvie_na_organizm. (дата обращения: 28.05.2019).
 21. Родионов Б. Н. Энергоинформационное воздействие низкоэнергетических электромагнитных излучений на биологические объекты. *Вестник новых медицинских технологий*. 1999. Т.6. №3. С. 24–26.
 22. Elder, J. A. and Chou, C. K. Auditory Response to Pulsed Radio-frequency Energy. Motorola Florida Research Laboratories, Ft. Lauderdale, FL, USA. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.10163.pdf> (accessed 21 July 2019).
 23. Тигранян Р. Э., Шорохов В. В. Физические основы слухового эффекта СВЧ. Пушино: ОНТИ Пушинского научного центра АН СССР, 1990. 131 с.
 24. Оружие-медуза создает трубный глас в голове. 22.07.2008. MEMBRANA: Люди. Идеи. Технологии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.membrana.ru/particle/12809>. (дата обращения: 22.08.2016).
 25. Broad, W. J. Microwave Weapons Are Prime Suspect in Ills of U.S. Embassy Workers. *The New York Times*. Sept. 1, 2018. Available at: <https://www.nytimes.com/2018/09/01/science/sonic-attack-cuba-microwave.html> (accessed 08 January 2019).
 26. Tamminen, E., Rekula, P. and Juusela, M. (2002). Sähköä ilmassa. *Tallinn*, pp. 33–36.
 27. Эйди У. Р., Дельгадо Х., Холодов Ю. Л. Электромагнитное загрязнение планеты и здоровье. М. : Наука и человечество : *Межд. ежегодник*, 1989. С. 10–18.
 28. Конторов Д. С., Конторов М. Д., Слока В. К. Радиоинформатика. М. : Радио и связь, 1993. 296 с.

REFERENCES

1. Smirnov, A. A. (2013), “Informacionno-psihologicheskaya vojna” [Psychological warfare], *Free thought*. №6 (1642). Pp. 81–96.
2. Pochepcov, G. G. (2002), “Psihologicheskie vojny” [Psychological wars], К. : Vakler, 528 p.
3. Aronson, E. and Pratkanis, E. (2003), “Epoha propagandy: Mehanizmy ubezhdeniya, povsednevnoe ispolzovanie i zlupotreblenie” [The Age of Propaganda: Persuasion Mechanisms, Everyday Use, and Abuse]. SPb. : prajm-EVROZNAK, 384 p.
4. Kosinski, M. Publications. Available at: www.michalkosinski.com/home/publications (accessed 02 August 2017).
5. The Insider. “Rassledovaniye Das Magazin: kak Big Data i para uchenykh obespechili pobedu Trampu i Brexit” [Das Magazin investigation: how Big Data and a pair of scientists ensured the victory of Trump and Brexit]. 06.12.2016. Available at: <http://theins.ru/politika/38490> (accessed 08 August 2017).
6. Did Michal Kosinski’s methods facilitate Donald Trump’s victory? *Big Data & Business Intelligence*. Interview with Michal Kosinski. 18 Jan. 2017. Available at: www.cebit.de/en/news/article/michal-kosinski-38402.xhtml. (accessed 02 August 2019).
7. Pisarev, A. SocialDataHub: “Kak eks-reklamshik sdelaet biznes na Big Data i prodaet usluzhi byvshim kollegam (i chinovnikam)” [How the ex-advertiser did business on Big Data and sells services to former colleagues (and officials)]. 10.02.2017. Available at: <http://incruussia.ru/fly/socialdatahub-kak-eks-reklamshchik-sdelal-biznes-na-big-data-i-prodaet-uslugi-byvshim-kollegam-i-chi> (accessed 15 August 2019).
8. Gromyko, N. V. (2005), “Ispolzovanie informacionnyh tehnologij v kachestve “konscientalnogo oruzhiya”

- [The use of information technology as a “consultative weapon”]. *Vostok : almanah*. № 7/8 (31/32). July-August. Available at: http://www.situation.ru/app/j_art_984.htm (accessed 10 December 2013).
9. Akademik Igor Smirnov: “psihotronnoe oruzhie, psihozondirovanie – reportazh na REN-TV” [psychotronic weapons, psychosounding – report on REN-TV]. 17.08.2013. Available at: <https://youtube.com/watch?v=3YiLqtnRi68> (accessed 16 July 2019).
 10. “Shum, infrazvuk i ultrazvuk kak neblagopriyatnye akusticheskie faktory proizvodstva” [Noise, infrasound and ultrasound as adverse acoustic factors of production]. Available at: <http://baumanki.net/lectures/3-bezopasnost-zhiznedeyatelnosti-i-ohrana-truda/78-osnovy-bzhd/1335-6-shum-infrazvuk-i-ultrazvuk.html> (accessed 10 March 2019).
 11. “Valeologiya z osnovami fiziologiyi. Lekciya 4. Vpliv zvukiv na lyudinu” [Valeology with the basics of physiology. Lecture 4. The effect of sounds on a person]. Available at: <http://moodle.ipk.kpi.ua/moodle/mod/resource/view.php?id=39726> (accessed 11 march 2019).
 12. Kacaj, V. V. (2007), “Vliyanie shuma elektrooborudovaniya na elektrotehnicheskie harakteristiki tela cheloveka” [The effect of noise of electrical equipment on the electrical characteristics of the human body]: dis. . . . kand. techn. science :05.26.01 – Labor protection (electric power industry) / GOU VPO “Yuzhno-Uralskij gosudarstvennyj universitet”. Chelyabinsk, 109 p.
 13. The macaque anterior cingulate cortex translates counterfactual choice value into actual behavioral change / E. F. Fouragnan et al. *Nat Neurosci* 22, 2019. pp. 797–808. DOI: 10.1038/s41593-019-0375-6.
 14. Gromova, T. “Ubojnyj zvuk: kakoe ono, samoe “gumannoe” oruzhie v mire?” [Killing sound: what is it, the most “humane” weapon in the world&] 31 July 2015. Available at: www.dsnews.ua/future/ubojnyy-zvuk-kakoe-ono-samoe-gumannoe-oruzhie-v-mire--31072015090800 (accessed 11 February 2018).
 15. Akusticheskoe oruzhie: kak ono “strelyaet” [Acoustic weapons: how does it “shoot”], 25.06.2017. Available at: <http://russian7.ru/post/akusticheskoe-oruzhie-kak-ono-strelyae> (accessed 12 December 2017).
 16. Sinogina, E. S., Arhipov, V. A. and Sheremeteva, U. M. (2012), “Metody i sredstva borby s terrorizmom : uchebnoe posobie” [Methods and means of combating terrorism: a training manual]. Tomsk: Publ. of Tomsk State Pedagogical Univ., 220 p.
 17. I beat pirates with a hose and sonic cannon. (2007, May 17). BBC News. Retrieved April 16, 2013. Available at: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/6664677.stm (accessed 22 January 2019).
 18. Russon, Mary-Ann. Michael Brown Shooting: What is the LRAD Sound Cannon Being Used on Ferguson Protesters? 15.08.2014. Available at: <http://www.ibtimes.co.uk/michael-brown-shooting-what-lrad-sound-cannon-being-used-ferguson-protesters-1461260> (accessed 07 November 2019).
 19. “Metodicheskie rekomendacii 2.1.10.0061-12. Ocenka riska dlya zdorovya naseleniya pri vozdejstvii elektromagnitnyh polej (do 300 Hhz) v usloviyah naselennyh mest” [Methodical recommendations 2.1.10.0061-12. Health risk assessment for exposure to electromagnetic fields (up to 300 GHz) in populated areas] / Order of the chief state doctor of the Russian Federation 2012–april–13.
 20. “Elektromagnitnye polya i ih vozdeystvie na cheloveka. Vozdeystvie na organizm” [Electromagnetic fields and their effects on humans. Effects on the body]. Available at: http://bez-emi.ru/vozdeystvie_na_organizm (accessed 28 May 2019).
 21. Rodionov, B. N. (1999), “Energoinformacionnoe vozdeystvie nizkoenergeticheskikh elektromagnitnyh izluchenij na biologicheskie obekty” [Energy-informational effect of low-energy electromagnetic radiation on biological objects]. *Bull. of new medical technologies*. Vol. 6. №3. Pp. 24–26.
 22. Elder, J. A. and Chou, C. K. Auditory Response to Pulsed Radio-frequency Energy. Motorola Florida Research Laboratories, Ft. Lauderdale, FL, USA. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.10163.pdf> (accessed 21 July 2019).
 23. Tigranyan, R. E. and Shorohov, V. V. (1990). The physical basis of the auditory effect of the microwave. Pushino: ONTI Pushchino Scientific Center of the USSR Academy of Sciences AN USSR, 131 p.
 24. Oruzhie-meduza sozdaet trubnyj glas v golove. 22.07.2008. MEMBRANA: Lyudi. Idei. Tehnologii. Available at: www.membrana.ru/particle/12809 (accessed 22 August 2016).
 25. Broad, W. J. Microwave Weapons Are Prime Suspect in Ills of U.S. Embassy Workers. *The New York Times*. Sept. 1, 2018. Available at: <https://www.nytimes.com/2018/09/01/science/sonic-attack-cuba-microwave.html> (accessed 08 January 2019).
 26. Tamminen, E., Rekula, P. and Juusela, M. (2002). Electricity in the air. Tallinn. Pp. 33–36.
 27. Ejdi, U. R., Delgado, X. and Holodov, Yu. L. (1989), “Elektromagnitnoe zagryaznenie planety i zdorove” [Electromagnetic pollution of the planet and health], *Science and humanity : Intern. Yearbook*, M. Pp. 10–18.
 28. Kontorov, D. S., Kontorov, M. D. and Sloka, V. K. (1993), “Radioinformatika” [Radio informatics], *Radio and communication*, M., 296 p.

Відомості про авторів:**Білобородов Олег Олександрович**

кандидат технічних наук

докторант Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-3166-2659>

e-mail: 22bredly@gmail.com

Довгополий Анатолій Степанович

доктор технічних наук

професор

головний науковий співробітник науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Повітряних Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-9227-9771>e-mail: anatoliy.do@gmail.com**Information about the authors:****Oleh Biloborodov**

Candidate of Technical Sciences

Doctoral candidate of Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-3166-2659>e-mail: 22bredly@gmail.com**Anatoly Dovhopoly**

Doctor of Technical Sciences

Professor

Principal researcher of the Directorate for Scientific Research of Armament and Military Equipment of the Air Force of Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-9227-9771>e-mail: anatoliy.do@gmail.com

Стаття надійшла до редколегії 12.11.2019 р.

VII міжнародна науково-практична конференція “Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки”: основні підсумки

В рамках XVI Міжнародної спеціалізованої виставки “Зброя та безпека–2019” Міністерством оборони (МО) України 09–10 жовтня 2019 року була проведена чергова VII міжнародна науково-практична конференція, яка за вже встановленою традицією мала тематичну назву “Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки”.



У конференції брали участь представники Ради національної безпеки і оборони України, органів виконавчої влади, Національної академії наук (НАН) України, Міністерства оборони (МО) України та Генерального штабу Збройних Сил (ГШ ЗС) України, вищих навчальних закладів та наукових установ Міністерства освіти і науки (МОН) України, ДК “Укроборонпром”, Державного космічного агентства України, оборонної промисловості України, інші посадові особи та гості.

З іноземних військових делегацій були присутні представники Сполучених штатів Америки, Республіки Польща, Турецької Республіки, Федеративної Республіки Бразилія, а також члени Робочої групи з програмних процесів НАТО (WG1).

Відкриваючи **пленарне засідання**, заступник міністра оборони України **Анатолій ПЕТРЕНКО** привітав учасників конференції.

Він підкреслив, що з кожним роком ця конференція привертає до себе все пильнішу увагу як воєнно-політичного керівництва країни, так й широкого кола спеціалістів з військово-технічної та оборонно-промислової політики України та інших країн світу.

Заступник міністра оборони України висловив вдячність всім присутнім учасникам за небайдужість до

проблем технічного оснащення сектору безпеки і оборони.

Він зазначив, що зараз в окремих регіонах світу, у тому числі – навколо та у середині України, ситуація





характеризується наявністю воєнної напруги. П'ять років триває збройний конфлікт на Сході України, який призвів до величезних втрат людського та економічного потенціалів. Для відсічі збройної агресії та запобігання воєнним конфліктам на території України ЗС та інші складові сил оборони мають бути укомплектовані сучасними зразками озброєння та військової техніки (ОВТ).

За останні роки відбулися позитивні зрушення у технічному оснащенні ЗС України. Перш за все, кількісні, за рахунок поставки відновлених та модернізованих ОВТ, та прийняття на озброєння і постачання окремих новітніх зразків.

Головними напрямками розвитку озброєнь на сучасному етапі, з урахуванням загальносвітових тенденцій і досягнень української науки та виробництва, є:

нарощення засобів протиповітряної оборони шляхом постачання модернізованих та новітніх зенітних ракетних комплексів і радіолокаційних систем;

продовження модернізації бойової авіації; створення новітніх ракетних комплексів сухопутного, морського та повітряного базування;

оснащення сектору безпеки і оборони новітнім протитанковим озброєнням та високоточними боеприпасами; створення єдиної сучасної автоматизованої системи бойового управління військами;

відновлення бойового потенціалу Військово-Морських Сил (ВМС) України.

Керівництво ЗС України розраховує на те, що нові технічні рішення, які можливо реалізувати в ході розроблення та модернізації озброєнь, покращать їх бойові характеристики і дозволять особовому складу виконувати всі поставлені перед ними бойові завдання з найменшими втратами та найвищою ефективністю застосування зброї.

Саме тому, у цьому напрямку повинна бути орієнтована військова наука, в тому числі у тісній співпраці з промисловістю.

Завершуючи свій виступ, А. Петренко запросив всіх учасників конференції до конструктивної роботи.

Він також зазначив, що залучення до конференції представників МОН України, НАН України, представників промисловості, закордонних спеціалістів у військовій та військово-технічній сферах підвищить її науковий рівень.

Результатом обговорення проблемних питань, аспектів, завдань і тенденцій військово-технічної (ВТП) та оборонно-промислової політики України мають стати науково обґрунтовані пропозиції щодо вдосконалення в найближчій перспективі сектору безпеки і оборони



Фінансування наукових досліджень і розробок, які мають важливе значення для обороноздатності та безпеки країни у 2015-2017 роках,
які пройшли експертизу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України та Військово-медичного департаменту Міністерства оборони України

2017 рік – профінансовано 27 проєктів у 17 ЗВО та НУ на суму близько 19 млн. грн.

2018 рік – профінансовано 54 проєкти у 28 ЗВО та НУ на суму понад 33 млн. грн.

2019 рік – профінансовано 36 проєктів у 26 ЗВО та НУ на суму близько 39 млн. грн.

України за рахунок оснащення сучасними та перспективними зразками озброєння, військової й спеціальної техніки.

Зі вступним словом до учасників конференції також звернувся керівник експертної групи з питань комунікацій та організаційно-методичного забезпечення стратегічного планування Директорату інновацій та трансферу технологій МОН України **Віталій ЧЕРНЮК**.

Привітавши учасників конференції від імені керівництва МОН України, він зазначив, що даний захід є безумовно корисним та слугує поєднанням теоретичних і практичних напрацювань у сфері оборони. Заклади вищої освіти та наукові установи, які є місцем творення інновацій, повинні тісно співпрацювати з підприємствами, що здатні впровадити розробки науковців.

У подальшому виступі В. Чернюк зупинився на питаннях щодо практичних розробок подвійного використання у закладах науки та вищої освіти України.

Він зазначив, що кількість та фінансування розробок, які мають важливе значення для забезпечення обороноздатності України, складає досить вагомий частину наукової роботи у цих установах.

Найбільш вагомими прикладами завершених у 2017–2018 рр. науково-дослідних робіт (НДР) є такі:

«Розроблення програмно-розрахункової системи планування артилерійським підрозділом вогневого ураження противника» у Сумському державному університеті;

«Розроблення комплексу пасивної локації інфразвукового діапазону для виявлення загроз та їх ідентифікації» та «Розроблення комплексу приймально-передавального і модемного обладнання для модернізації тропосферної станції» у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

«Розроблення конструкцій і технологій виготовлення та складання комбінованих систем оперативного бронювання стаціонарних і пересувних об'єктів військового призначення із змінним рівнем захисту» в Інституті фізики напівпровідників імені В.С. Лашкарьова НАН України тощо.

Ряд НДР установи МОН України продовжують виконувати у 2019 році. Серед них:

1. Харківський національний університет радіоелектроніки: «Розроблення конструкторської документації лазерної системи реєстрації оптики».

2. Науково-виробниче підприємство «Електрон-Карат» – дочірнє підприємство ПрАТ «Концерн-Електрон»: «Розроблення пристроїв функціональної електроніки на основі монокристалів групи перовськіту».

3. Харківський національний університет радіоелектроніки: «Розроблення технологій виявлення та високоточного супроводу повітряних об'єктів».

4. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»: «Розроблення системи високоточного автоматичного супроводу низькоорбітальних супутників дистанційного зондування Землі».

5. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»: «Розроблення складів та технологій виготовлення керамічних радіопрозорих носових обтічників для захисних елементів конструкцій літальних апаратів».

6. Державне підприємство «Базовий центр критичних технологій «Мікротек»: «Розроблення елементів модульних конструкцій балістичної та протимінної стійкості на основі керамічних та алюмінієвих сплавів» тощо.

У той же час, подальшому розгортанню НДР в інтересах забезпечення воєнної безпеки України заважає недосконалість законодавства України, особливо у сфері інноваційної діяльності, про що керівництво МОН України постійно нагадує, підкреслив В. Чернюк.

Він висловив впевненість, що, не зважаючи на це, співпраця науковців МО та МОН України, а також їх спільна взаємодія з організаціями, підприємствами та установами України, що працюють у сфері виконання державного оборонного замовлення (ДОЗ), буде з часом поглиблюватися та сприятиме створенню нових технологій у сфері безпеки і оборони, зміцненню економіки та обороноздатності України тощо.

Далі, **на пленарному засіданні**, яке відбулося у **перший день конференції**, були обговорені проблемні питання щодо:

посилення взаємодії ЗС України, інших військових формувань та вітчизняної оборонної промисловості;

першочергові завдання у військово-технічній та військово-промисловій сферах, що випливають із Закону України «Про національну безпеку України»;

обґрунтування перспектив розвитку ОВТ;

виконання Цільової науково-технічної програми НАН України «Дослідження і розробки з проблем підвищення обороноздатності і безпеки держави» та забезпечення максимальної реалізації наукового потенціалу НАН України та виробничого потенціалу підприємств ОПК для прискорення процесу створення та виробництва високотехнологічних ОВТ.



З доповіддю “**До питання розвитку ракетно-реактивної зброї України**” на конференції виступив Віце-президент НАН України, д. т. н., професор, академік НАН України **Володимир ГОРБУЛІН**.

У своєму виступі, характеризуючи результати аналізу стану та технічного рівня ОВТ ЗС України, В. Горбулін підкреслив, що він не відповідає запитам воєнного часу. Причиною цього стала багаторічна хронічна нестача бюджетних коштів для модернізації існуючих і розробки нових видів озброєння. Виходячи з цього, він запропонував вважати в цих умовах одним із пріоритетних видів ОВТ, здатних потенційно підвищити обороноздатність держави – ракетно-реактивне озброєння (РРО).

В. Горбулін навів приклади використання РРО провідними країнами світу та зазначив, що наявність високоточних ракетних комплексів уже одним фактом свого існування здатна утримати агресора від нападу, оскільки вони створюють реальну загрозу економічному і військовому потенціалу противника. Тенденції ведення сучасних війн лише підтверджують і підсилюють роль ракетної компоненти.

Виходячи з цього, він зосередився на можливих шляхах розвитку РРО в Україні.

Зокрема, за умов сучасного економічного і фінансового стану України очевидні **два варіанти реагування на нові загрози: симетричний і компромісний**. **Симетричний варіант** передбачає створення власного арсеналу ракет середньої і малої дальності для отримання необхідного ефекту стримування агресора. Реалізація такого варіанту вимагатиме радикального реформування ЗС і ОПК України та величезних фінансових витрат. **Другий варіант** – зосередитися на реалізації компромісного рішення: з урахуванням напрацювань підприємств ОПК в галузі створення РРО, створити Стратегію розвитку ракетно-реактивної зброї та на її базі – Державну програму розвитку РРО, передбачивши відповідний перерозподіл бюджетних витрат на її реалізацію. Йдеться про створення протикорабельного ракетного комплексу “Нептун” та модернізованого РСЗВ “Вільха-М”, оперативно-тактичних і тактичних ракетних комплексів, реактивних систем залпового вогню та інших видів РРО, нових зенітно-ракетних комплексів (ЗРК), космічних засобів розвідки з використанням нових технологій, отриманих зокрема інститутами НАН України спільно з іншими організаціями тощо.

На завершення доповіді В. Горбулін зробив такі висновки:

1. Кризовий стан економіки України призводить до неприпустимого дефіциту бюджетних коштів, які виділяються на забезпечення необхідного технічного рівня озброєння та його розвиток, що призвело до зниження боєздатності армії України.

2. Установлення комплексів ракет середньої та малої дальності наземного базування в Європі та Росії чинитиме додатковий військово-політичний та військовий тиск на Україну. За умов скасування Договору про РСМД, Україна може проігнорувати вимоги цього

Договору, відповідно до яких вона не може створювати ракети з дальністю стрільби понад 500 км.

3. За умов, що склалися, необхідно створити власний арсенал ракетно-реактивної зброї, зокрема ракет середньої і малої дальності, і таким чином отримати ефект стримування агресора.

4. Наведені напрацювання в галузі модернізації та створення нових видів ракетно-реактивного озброєння можуть бути використані при формуванні Стратегії розвитку ракетно-реактивного озброєння ЗС України та створенні на її базі Державної програми розвитку РРО.

5. Питання створення Стратегії розвитку ракетно-реактивного озброєння України та Державної програми його розвитку доцільно розглянути на засіданні Ради національної безпеки і оборони України за участю зацікавлених організацій та підприємств ОПК України.

Велику увагу присутніх на конференції привернув виступ заступника секретаря Ради національної безпеки і оборони України **Сергія КРИВОНОСА** “**Основні аспекти військово-технічної та військово-промислової політики на сучасному етапі**”, у якому він достатньо реально оцінив чинний стан у цій сфері.



Доповідач зауважив, що ОПК України за багатьма своїми складовими втратив спроможність до створення і серійного виробництва новітніх зразків ОВТ. Він підкреслив, що основними причинами цього є:

низький рівень формування та реалізації державної військово-промислової політики;

невизначеність базової моделі організаційної побудови та системи управління вітчизняною оборонно-промисловою сферою;

відсутність системоутворюючого чинника, здатного інтегрувати в ринкових умовах суб'єкти господарювання, які займаються створенням та виробництвом ОВТ, в єдину функціональну цілісність;

зменшення ролі наукового потенціалу НАН, наукових установ та вищих навчальних закладів МОН України;

недостатня підтримка стратегічно важливих для оборони, безпеки і економіки держави наукових установ

і промислових підприємств щодо інноваційного розвитку;

відсутність технологічно замкнених циклів виробництва більшості видів ОВТ, руйнування традиційної науково-технічної і виробничої кооперації, низькі темпи проведення диверсифікації закупівель товарів військового призначення та подвійного використання;

критичне фізичне та моральне зношення основних виробничих фондів, низька ефективність використання науково-виробничої бази, значна енергоємність виробництв, технологічне відставання від провідних держав світу, критичний фінансово-економічний стан більшості підприємств, низька рентабельність виробництва, брак обігових коштів та відсутність інвестиційних ресурсів;

невідповідність існуючої системи побудови та управління ОПК України загальноекономічним ринковим умовам життєдіяльності в державі та світі;

критичний стан забезпечення підприємств ОПК висококваліфікованими робітничими, технічними та інженерними кадрами тощо.

Для поліпшення становища в оборонно-промисловій сфері С. Кривонос запропонував такі першочергові заходи:

1. Прискорення проведення огляду ОПК відповідно до Закону України “Про національну безпеку” з обов’язковою оцінкою стану виконання інших заходів, передбачених цим законом.

2. Невідкладне прийняття Верховною Радою України таких найбільш актуальних законопроектів:

“Про створення та виробництво озброєння, військової і спеціальної техніки”;

“Про військово-технічне співробітництво України з іноземними державами”;

та розроблення й прийняття законопроектів:

“Про оборонно-промисловий комплекс України”;

“Про внесення деяких змін до Господарського кодексу України та інших законодавчих актів з метою забезпечення сталого розвитку вітчизняного ОПК”;

“Про внесення змін до Закону України “Про державне оборонне замовлення”;

“Про внесення деяких змін до Закону України “Про особливості управління об’єктами державної власності в ОПК”;

“Про внесення деяких змін до Закону України “Про державно-приватне партнерство” та “Про внесення деяких змін до Закону України “Про інвестиційну діяльність” для врегулювання питань покращення інвестиційного клімату в ОПК України шляхом акціонування його і підпорядкованих підприємств державної форми власності та залучення акціонерів;

“Про перелік об’єктів права державної власності, що не підлягають приватизації”;

“Про внесення змін до Закону України “Авторське право та суміжні права”, інші законодавчі акти у сфері інтелектуальної власності тощо.

3. Розроблення та прийняття Кабінетом Міністрів України та зацікавленими центральними органами виконавчої влади відповідних нормативно-правових актів із забезпечення реалізації вищезазначених законів України

та нормативно-правових актів щодо посилення ролі та місця інституту Генеральних конструкторів зі створення техніки для потреб оборони і безпеки держави.

4. Невідкладне здійснення комплексу заходів, спрямованих на:

заміщення в інших регіонах країни експериментальних та виробничих потужностей, втрачених внаслідок анексії Криму та захоплення незаконними озброєними формуваннями окремих районів Донецької та Луганської областей;

відновлення відсутньої технічної документації та оснащення;

швидке налагодження в нових пунктах дислокації повноцінної роботи підприємств, що припинили свою діяльність на окупованих територіях.

5. В рамках проведення огляду ОПК – здійснення аналізу стану виконання чинної Стратегії розвитку ОПК України на період до 2028 року, діючих Державної цільової програми реформування та розвитку ОПК до 2021 року, Державної цільової програми створення та освоєння боеприпасів та продуктів спецхімії до 2021 року. Розроблення та здійснення заходів щодо їх виконання.

6. За підсумками проведеного огляду ОПК – розроблення та прийняття нової Стратегії реформування та розвитку ОПК України на період до 2040 року.

Результат виконання запропонованих заходів, на його думку, є основою для усунення системних протиріччя функціонування ОПК України та підвищення ефективності взаємодії зі складовими сектору безпеки та оборони України з метою їх технічного оснащення.

У виступі Президента Української Спілки промисловців та підприємців **Анатолія КИНАХА “Комплексне реформування та розвиток оборонно-промислового комплексу України”** були розкриті основні протиріччя, пов’язані з вибором шляху подальшого економічного розвитку держави та забезпечення національної безпеки і оборони, у тому числі технічного оснащення ЗС, інших військових формувань та розвитку ОПК України.



Аналізуючи ці протиріччя, доповідач зазначив, що нинішній стан ОПК не відповідає вимогам, що ґрунтуються на задекларованих основних напрямках зовнішньої і внутрішньої політики держави, прагненнях України до членства в ЄС та НАТО.

Це ставить перед державою комплексне завдання з відтворення нового вигляду вітчизняного ОПК, що відповідає за своїми можливостями актуальним завданням забезпечення безпеки і оборони та економічного розвитку країни на перспективу.

Оптимальний варіант розв'язання проблеми формування нового вигляду ОПК вирішальним чином залежить від вибору моделі організаційної побудови оборонно-промислової сфери і відповідної їй системи державного управління.

У зв'язку з цим, на підставі зарубіжного досвіду і управлінських традицій, що склались у вітчизняній промисловості, **практичну доцільність можуть представляти три моделі:**

у вигляді сукупності окремих розрізнених частин різних галузей промисловості, кожна з яких спеціалізується на розробці і виготовленні певних видів ОВТ, не будучи при цьому суб'єктом макроекономічних відносин (Модель 1);

відособлена галузь промисловості, що є суб'єктом макроекономічних відносин і об'єднує в собі підприємства, які спеціалізуються на розробці та виробництві всієї потрібної країні номенклатури ОВТ (Модель 2);

промисловий комплекс, як суб'єкт макроекономічних відносин, у вигляді системної сукупності окремих галузей промисловості, головним системоутворюючим чинником якої є розробка і виготовлення ОВТ за наявності в ньому паралельного виробництва іншої цивільної продукції (Модель 3).

У результаті аналізу зазначених моделей, доповідач зробив висновок, що враховуючи зміст завдань з комплексного реформування і розвитку ОПК України, на підставі основних напрямів внутрішньої і зовнішньої політики держави на сучасному етапі, найбільш оптимальним слід визнати Модель 3. При цьому основні зусилля в її реалізації мають бути спрямовані на:

завершення ринкової трансформації оборонно-промислової сфери з метою досягнення прийняттого рівня економічної ефективності;

скрупульозне впровадження в процес її функціонування відповідних системоутворюючих чинників як гарантії досягнення науково-технічної і фінансово-економічної самодостатності ОПК та високих темпів його саморозвитку;

відродження інноваційного характеру оборонно-промислової діяльності в якості обов'язкової умови та надійної основи подальшого просування вперед тощо.

Наприкінці свого виступу А. Кінах зробив висновок про те, що вирішення комплексного завдання з технічного оснащення ЗС України потребує значних фінансових, технологічних, виробничих та інших ресурсів. При цьому саме МО України, як замовник озброєнь і досліджень, й ОПК, як виконавець, з одного боку, потребують удосконалення взаємодії, а з іншого боку – вони

можуть стати епіцентром нової реіндустріалізації та науково-технічного розвитку країни при оптимальній моделі реформування і розвитку ОПК.

Низка практичних рекомендацій щодо побудови та реалізації ВТП України в сучасних умовах та у найближчому майбутньому містилася у доповіді заступника директора Департаменту військово-технічної політики, розвитку озброєння та військової техніки МО України **Владислава ШОСТАКА** за темою **“Проблемні питання військово-технічної політики та оборонно-промислового комплексу України на сучасному етапі: шляхи їх вирішення”**.



Доповідач зосередив увагу на проблемах ВТП та ОПК України на сучасному етапі та визначив основні можливі шляхи їх вирішення. Зокрема:

1) головним інструментом управління ОПК повинні стати відповідні документи довгострокового, середньострокового та короткострокового планування;

2) невідкладне розроблення Кабінетом Міністрів України (відповідними центральними органами виконавчої влади) та прийняття Верховною Радою України у стислий термін низки найбільш актуальних законопроектів, які вже були названі у доповіді С. Кривоноса;

3) якісно провести огляд ОПК у відповідності із Законом України “Про національну безпеку”, а також організувати виконання аудиту за визначеними завданнями і планами, оцінки ефективності використання виробничих ресурсів ОПК України.

В. Шостак підкреслив, що результатом виконання запропонованих заходів мають стати:

усунення існуючих протиріч, які зменшують ефективність виконання запланованих заходів, зокрема формування ДОЗ на три роки;

уточнення стратегій та плануючих документів з урахуванням сучасних вимог та орієнтування на реальну перспективу, мінімум до 2040 року;

забезпечення узгодженості плануючих документів, спрямованих на задоволення потреб усіх складових сил сектору безпеки і оборони України;

закладення основ для усунення системних протиріч функціонування ОПК України та підвищення ефективності взаємодії зі складовими сектору безпеки і оборони України з метою їх технічного оснащення.

За умов виконання даних пропозицій, вважає він, здебільшого буде завершений процес формування ОПК України, як з точки зору його організаційної структури, так і з точки зору системи державного управління ним, на основі акціонерної форми власності шляхом створення гнучких функціональних структур, що адаптовані до ринкових принципів господарювання і мають високий науково-технічний і виробничий потенціал, у тому числі і в найбільш актуальних галузях сучасної науки і техніки.

Трансформації оборонно-промислового сектора вітчизняної економіки радикально підвищать ефективність оборонно-промислової діяльності і дадуть змогу:

здебільшого розв'язати проблему оснащення складових сил оборони сучасними ОВТ;

здійснити планомірне входження України до числа найбільш технологічно розвинених європейських держав;

наситити внутрішній ринок наукомісткою і високотехнологічною вітчизняною продукцією, що сприятиме досягненню вищих стандартів життя населення.

З ґрунтовною доповіддю **“Державна військово-технічна політика у світлі сучасних тенденцій світового науково-технічного прогресу”** на конференції виступив начальник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України д. т. н., професор, **Ігор ЧЕПКОВ**.



Доповідач провів аналіз сучасних тенденцій світового науково-технічного прогресу, підкресливши, що однією з найважливіших критеріальних ознак державної ВТП є її корелятивність з пануючими тенденціями світового науково-технічного прогресу, що знаходить своє відображення у втіленні останніх досягнень сучасної науки та техніки в новітніх зразках ОВТ.

Він охарактеризував **промислові революції**, що створюють та характеризують значний внесок у розвиток техніки і технологій взагалі, й ОВТ – зокрема, стисло довів сутність перших трьох з них, та більш докладно зупинився на четвертій, що відбувається зараз, й зазначив, що вона базується вже на зовсім інших принципах:

функціональна сумісність людини і машини, можливість прямих контактів між ними за допомогою Інтернету;

здатність створювати віртуальну картину фізичного світу за рахунок доступності, прозорості та повноти потрібної інформації, а також можливостей комп'ютерної техніки;

перекладання на машину широкого кола завдань, вирішення яких не підвладне людському розуму або становить небезпеку для людини, шляхом створення великих баз даних, накопичення інформації, її оброблення та аналізу;

спроможність машини самостійно і автономно приймати необхідні рішення тощо.

Втілення принципів четвертої промислової революції в засобах збройної боротьби у США, Німеччині, Франції, Великобританії, Китаї, Індії та цілому ряду інших країн, зокрема, що досить небезпечно для України, Росії, вже йде повним ходом.

У той же час, в Україні питанням розвитку технологій четвертої промислової революції приділяється не достатньо уваги, й це стає проблемою національної безпеки.

Тому доцільно кардинально переглянути наші стратегічні, середньострокові та поточні плани і програми у військово-технічній та оборонно-промисловій сферах з метою радикального посилення саме їх технологічних розділів, в першу чергу, пов'язаних з цифровими технологіями. Цим роботам повинен бути відданий беззаперечний пріоритет.

Не аби-яку зацікавленість у присутніх на конференції викликала **“Презентація Військового інституту технологій озброєння Республіки Польща”**, зроблена





представником цього інституту д. т. н. *Євгеніушом МІЛЕВСЬКИМ*. У ній він розповів про структуру цього інституту, організацію його роботи, його лабораторне, технічне, фінансове й кадрове забезпечення тощо. У своєму виступі Є. Мілевський також повідомив, що його інститут налагоджує зв'язки в науковій сфері з ЦНДІ ОВТ ЗС України, та щодо планів розгортання подальшої взаємовигідної співпраці.

Доповіді провідних фахівців у сфері ВТП України були органічно доповнені **промовами присутніх на конференції фахівців**, зокрема:

д. т. н. *Олександра СТРИЖАКА*, представника Національної академії наук України “Інформаційно-аналітична підтримка процесів оснащення і розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України”, Начальника управління з реалізації політики імпортозаміщення, стандартизації та якості Державного концерну “Укроборонпром” *Миколи ГОРИНА* “Оцінка відповідності матеріалів у сфері виробництва озброєння та військової техніки”, Директора Центру досліджень армії, конверсії та роззброєння *Валентина БАДРАКА* “Створення технокластеру як оптимальна модель розвитку технологій в Україні”, Директора Громадської спілки «Ліга оборонних підприємств України» *Олега БРЮШКОВСЬКОГО* “Сучасні проблеми розвитку вітчизняної оборонної промисловості з точки зору приватних виробників”, проректора з наукової роботи Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» д.т.н., проф. *Віталія ПАСІЧНИКА* “Досвід наукового супроводження розробок у сфері оборонних технологій”, проректора з наукової роботи

Національного авіаційного університету д.т.н., проф. *Володимира ХАРЧЕНКА* “Реалізація подвійних технологій в безпілотних авіаційних системах”, представника компанії EVEREST *Тараса ПОРИЧНИКА* “Новітні підходи до організації розподілених оборонних систем: концепція Mosaic Warfare та новий спектр можливостей для України” тощо.

Своїми виступами й пропозиціями вони доповнили основних доповідачів, розповіли про досягнення їхніх організацій й установ у науковій роботі щодо вдосконалення окремих напрямів ВТП та можливих шляхів забезпечення ЗС України новітніми, модернізованими та закордонними зразками ОВТ, щодо конкретних робіт із їх створення, про труднощі, що заважають реалізації намічених планів і програм, перспективах та можливостях їх подолання, а також про плани подальших розробок й досліджень у цьому напрямку тощо.

На другий день засідання конференції проходили у чотирьох секціях:

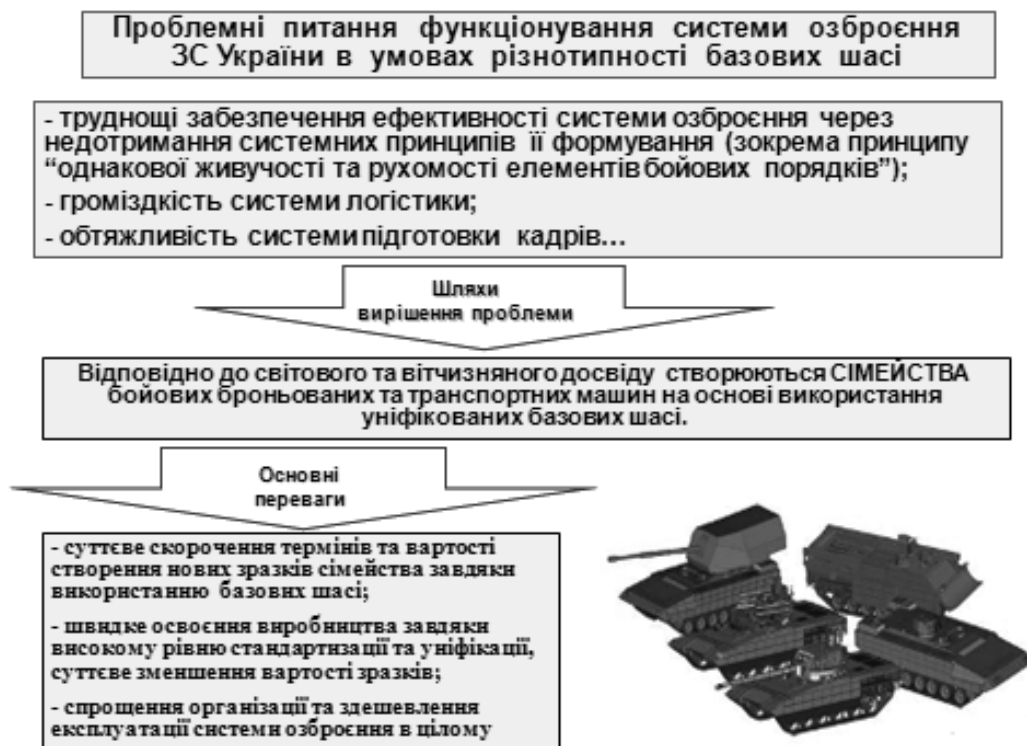
перша – перспективи розвитку ОВТ Сухопутних військ (СВ);

друга – перспективи розвитку ОВТ Повітряних Сил (ПС);

третья – перспективи розвитку ОВТ спеціальних військ (СпВ);

четверта – перспективи розвитку ОВТ Військово-Морських Сил (ВМС).

У роботі першої секції VII науково-практичної конференції взяли участь представники структурних підрозділів МО та ГШ ЗС України, ОПК України, провідних НДУ та ВНЗ України, НАН України, а також представники інших держав, зокрема Бразилії та Польщі.



На засіданні були обговорені питання щодо стану та перспектив розвитку системи озброєння СВ, у тому числі – бронетанкових ОБТ, ОБТ ракетних військ і артилерії, військової автомобільної техніки, засобів ближнього бою та бойового екіпування, ОБТ Сил спеціальних операцій тощо.

Зі вступною промовою за темою “**Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ**”, яка визначила наступну спрямованість доповідей інших учасників конференції, виступив начальник НДУ розвитку ОБТ СВ, к.т.н. *Святослав СУС*.

С. Сус охарактеризував основні напрями роботи НДУ, основні результати НДДКР, які були виконані за період 2014-2019 рр. за участі співробітників НДУ, напрями розвитку СВ ЗС України та вдосконалення основних зразків ОБТ різних типів й видів. Він також висвітлив основні проблеми, які виникають при проведенні НДДКР, способи їх можливого вирішення та ризики, які можуть супроводжувати виконання НДДКР у майбутньому.

Основними проблемами виконання ДКР на сьогоднішній день, на думку спеціалістів НДУ, є:

нездатність (небажання) головних виконавців ДКР відтворити кооперацію підприємств для розроблення та виготовлення зразків ОБТ;

відсутність можливості закупівлі невеликих партій броньованого протикюльного прокату вітчизняного виробництва через небажання ДК «Укроборонпром» та підприємств приватного сектору прийняти участь у створенні запасів броньованого прокату;

відсутність виробництва вітчизняних двигунів військового призначення;

відсутність вітчизняних фотодетекторів для створення приладів нічного бачення для ОБТ;

відсутність малотоннажного виробництва порохів та вибухових речовин;

відсутність замкнутого циклу виробництва боєприпасів для стрілецького та артилерійського озброєння, у т. ч. 155-мм артилерійських пострілів для проведення випробувань виробу “Богдана” (на цей час завершується створення малотоннажного виробництва сумішевого твердого палива на ПХЗ та реконструкція виробництва капсульно-підривних пристроїв);

відсутня випробувальна база для розроблення та виробництва боєприпасів (потребує глибокої реконструкції артилерійський полігон);

при виконанні ДКР фактично враховуються можливості підприємств-розробників, що не дозволяють в повній мірі забезпечити вимоги споживачів;

відсутність окремих типів боєприпасів (зокрема бронебійних патронів і снарядів – для перевірки стійкості броньових матеріалів; інертних гранатометних пострілів, мін, снарядів – для перевірки на міцність стволів, стрільби на критичних кутах наведення), цим обмежується якість проведення попередніх і державних випробувань;

відсутність полігонної бази (станцій супроводження, телеметричної апаратури, системи аварійного підриву ракет, мішенної обстановки) для проведення пусків ракет на велику дальність (крім того, потребує суттєвого опрацювання можливості створення типових цілей ураження для тактичного, реактивного та далекобійного артилерійського озброєння на морській поверхні) тощо.

С. Сус окреслив можливі напрями вирішення зазначених та інших проблемних питань з розвитку ОВТ СВ. Зокрема, це:

залучення вітчизняних інноваційних технологій до розроблення та модернізації ОВТ;

концентрація технологічних, фінансових та організаційних зусиль на рішенні найбільш актуальних (пріоритетних) завдань з розроблення та модернізації ОВТ; поглиблення ВТС з країнами партнерами.

Увагу присутніх привернула **розширена презентація представників Бразилії на чолі з Головою Секретаріату оборонної продукції генерал-лейтенантом Luis Antonio Duizit Brito**. У своїй доповіді генерал-лейтенант Luis Antonio Duizit Brito висвітлив завдання, які стоять перед Секретаріатом оборонної продукції, результати зміни законодавчої бази для проведення відкритих закупівель оборонної продукції, досягнення ОПК Бразилії та запропонував основні напрями ВТС між Україною та Бразилією. В продовження його доповіді виступили представники AVIBRAS, з доповіддю щодо ракетної техніки та можливостей виготовлення ракет різних класів: Condor щодо досягнень та результатів використання нелетальної зброї при проведенні миротворчих та поліцейських операцій, Taurus щодо стрілецької зброї, AVIBRAS та EMBRAER щодо сучасних зразків авіаційної техніки тощо.

У подальших виступах учасники конференції на засіданні секції докладно розглянули питання щодо вдосконалення різноманітних зразків ОВТ СВ ЗС України, систем й методів їх захисту від різних засобів ураження (протитанкових мін та саморобних вибухових пристроїв, гранат РПГ, бронейних куль стрілецької зброї до 14,5 мм включно), напрями розвитку вітчизняних засобів ураження (боєприпасів), а також низку питань із обґрунтування необхідності, розроблення та бойового застосування мобільних наземних роботизованих комплексів спеціального призначення. Саме останній напрямок, на їх думку, є одним з перспективних у війнах сучасності та майбутнього. Однак, для його реалізації на практиці необхідні науковий та промисловий потенціали, зі станом яких в Україні зараз спостерігаються деякі ускладнення (вітчизняний ОПК, на думку багатьох спеціалістів у військовій справі, у сучасних умовах неспроможний до випуску більшості номенклатури потрібних для ЗС України зразків ОВТ).

У роботі другої секції взяли участь представники структурних підрозділів МО та ГШ ЗС України, ОПК України, провідних НДУ та ВНЗ України тощо за напрямом розробок та досліджень ОВТ ПС.

Засіданням секції керував та виступив із вступною промовою **“Проблемні питання та шляхи оснащення Повітряних Сил ЗС України озброєнням та військовою технікою на середньострокову перспективу”** заступник начальника НДУ ЦНДІ ОВТ ЗС України, к. т. н., с. д. **Руслан ЖИВОТОВСЬКИЙ**.

Основні положення його доповіді доповнили учасники конференції з числа науковців ЦНДІ ОВТ ЗС України та інших організацій і установ України, які займаються питаннями з тематики засідання: Козлов Ю.В.,

Шацман Л.Г., Нікітін М.М., Харченко В.П., Мітрахович М.М., Чигінь В. Скорик А.Б., Попов М.О., Рябуха В.П., Жирнов В.В., Жаліло О.О., Гевяшев А.Д. тощо.

Присутні на конференції обговорили такі питання.

1. Стан та перспективи розвитку зенітного ракетного озброєння ЗС України, проблемні питання та шляхи їх вирішення.

Було зазначено, що ЗС України оснащені зразками ОВТ протиповітряної оборони, в яких майже вичерпано призначені строки експлуатації, технічний стан яких характеризується збільшенням кількості відмов під час застосування за призначенням, які є морально застарілими (мають гірші ТТХ ніж у новітніх зразках ОВТ передових країн світу) та потребують заміни, модернізації, ремонту або зняття з експлуатації. Крім того, терміни технічної придатності зенітних керованих ракет також стрімко падають.

Враховуючи зазначене, першочерговими заходами щодо розвитку зенітного ракетного озброєння ЗС України є:

налагодити розробку та виробництво на підприємствах України гостродефіцитних складових частин і комплектуючих необхідної номенклатури, і в першу чергу, гостродефіцитних приладів надвисокої частоти;

вирішити питання щодо визначення головного підприємства (конструкторського бюро) з розробки (модернізації) зенітних ракетних систем та комплексів;

зосередити основні зусилля НДУ та підприємств України, в першу чергу, на розробці базових (критичних) технологій, які дозволять створити науково-технічний задел для розробки окремих бойових засобів для перспективних та існуючих зенітних ракетних комплексів;

прийняття рішення про відкриття ДКР з розроблення зразків ОВТ, які є складними та фінансово затратними науково-технічними проектами, здійснювати тільки за результатами виконання аванпроекту з обґрунтованими висновками щодо технічної та фінансової спроможності розробки та налагодження серійного виробництва таких зразків в Україні;

здійснення досліджень щодо визначення перспективних вимог до зенітного ракетного озброєння, їх ролі та місця в перспективній системі ППО України;

прискорення початку серійного виробництва національної засекречувальної апаратури впізнавання та національних ключових документів до неї.

2. Проблемні питання та шляхи оснащення авіаційною технікою та озброєнням на середньострокову перспективу.

На даний час в експлуатації авіаційних підрозділів ЗС України знаходиться військова авіаційна техніка, вироблена за часів СРСР 1982-1991 років випуску (окрема вертолітна техніка – випуску середини 70-х років минулого століття). За оцінкою фахівців ЗС України, існуючий парк бойових літаків з урахуванням продовження термінів їх служби та ресурсу, може знаходитися в експлуатації до 2025 – 2030 років.

Проаналізувавши поточний стан справ з оснащення ЗС України авіаційною технікою та озброєнням, стан та можливості наукової і промислової бази України у цій



сфері, учасники засідання визначили першочергові заходи з підтримання справності та розвитку військової авіаційної техніки і озброєння. Зокрема:

налагодження розробки та виробництва на підприємствах ОПК України гостродефіцитних складових частин і комплектуючих військової авіаційної техніки та озброєння;

завершення всіх робіт з модернізації військової авіаційної техніки до 2025 року;

створення безпілотних авіаційних комплексів класу тактичні (зокрема ударних) та інтеграція їх (та інших комплексів, що експлуатуються) у єдину автоматизовану систему управління військами;

визначення варіанту оснащення ЗС України бойовими літаками, вертолітною технікою та озброєнням;

прискорення проектів зі створення вітчизняних військово-транспортних та спеціальних літаків та постачання їх до ЗС України;

подальший розвиток засобів контролю і аналізу космічної обстановки.

3. Стан та проблемні питання розвитку військової радіолокації України.

Проблемними питаннями розвитку радіотехнічних засобів ЗС України, на думку учасників конференції, є:

відсутність суцільного радіолокаційного поля;

питання розвитку національної системи державного радіолокаційного впізнання.

Першочерговими заходами щодо покращення стану радіотехнічних засобів ЗС України мають бути:

налагодження розробки та виробництва на підприємствах України гостродефіцитних складових частин і комплектуючих необхідної номенклатури, і в першу чергу, гостродефіцитних приладів надвисокої частоти;

зосередження основних зусиль НДУ та підприємств України, в першу чергу, на розробці базових (критичних) технологій, які дозволять створити науково-технічний задел для розробки перспективних та існуючих зенітних ракетних комплексів;

прийняття рішення щодо відкриття ДКР з розробки зразків ОВТ, які є складними та фінансово затратними науково-технічними проектами, здійснювати за результатами виконання аванпроекту та отримання обґрунтованих висновків щодо технічної та фінансової спроможності розробки та налагодження серійного виробництва таких зразків в Україні;

здійснення досліджень щодо визначення перспективних вимог до літаків винищувальної авіації, їх ролі та місця в перспективній системі ППО України;

створення єдиної системи автоматизованого збору, обробки та передачі радіолокаційної інформації та нові зони обміну радіолокаційною інформацією із сусідніми державами;

прискорення початку серійного виробництва національної засекречувальної апаратури впізнання та національних ключових документів до неї;

розроблення та прийняття Концепції розвитку системи радіолокаційного впізнання повітряних, наземних та надводних об'єктів з урахуванням співробітництва та інтеграції в НАТО.

У роботі третьої секції з питань перспектив розвитку ОВТ СпВ взяли участь представники структурних підрозділів ГШ ЗС та МО України, НДУ та ВНЗ, генеральних конструкторів комплексів, систем озброєння, керівників підприємств промисловості України.

Засіданням секції керував головний науковий співробітник 4 НДУ ЦНДІ ОВТ ЗС України, д. т. н., проф. **Михайло ЛУХАНІН**.

На засіданні секції із вступною промовою “**Проблемні питання розвитку ОВТ спеціальних військ та можливості підприємств України щодо їх вирішення**” виступив начальник НДУ розвитку ОВТ спеціальних військ ЦНДІ ОВТ ЗС України к. т. н., с. н. с. **Володимир ТВЕРДОХЛІБОВ**.

У ході роботи секції з цікавими та актуальними доповідями, що охоплюють широке коло проблем, пов'язаних з забезпеченням боєздатності та готовності до виконання завдань ЗС України в частині оснащення їх зразками ОВТ СпВ, виступили науковці управління, представники ГШ ЗС та МО України, НДУ та промисловості України: Ковбасюк О.В., Березовський А.І., Богучарський В.В., Федоров П.М., Гамалій Н.В., Волженцева І.В., Налапко О.Л., Бичков А.М., Холодний Ю.Ф., Кубрак О.М., Каложний Н.М., Головач С., Місайлов В.Л. тощо.

У доповіді В. Твердохлібова, а також у виступах учасників засідання було підкреслено, що за останні роки у якісному та кількісному стані ОВТ СпВ відбулися тільки поодинокі незначні зміни, що пояснюється браком коштів, недостатньою увагою до цього питання з боку керівництва ЗС України, обмеженими можливостями ОПК України тощо.

У той же час, сучасні погляди на характер потенційно можливих війн і збройних конфліктів, іноземний досвід, накопичений у збройних конфліктах останніх

років, а також досвід ЗС України, отриманий в ході АТО та ООС, існуючий рівень укомплектованості та технічний стан ОВТ СпВ підрозділів ЗС України вимагають негайного і якісного вирішення проблемних питань подальшого розвитку ОВТ та підтримки їх на високому технічному рівні з метою ефективного вирішення завдань забезпечення бойової діяльності ЗС України для захисту територіальної цілості та суверенітету держави.

Виходячи з представлених доповідей, проведеного аналізу поточного стану СпВ ЗС України, наукової бази та ОПК України у сфері розробок ОВТ СпВ, учасниками конференції було запропоновано пріоритетними напрямками наукових досліджень за військово-технічною проблематикою розвитку ОВТ СпВ ЗС України на сучасному етапі вважати:

1. Стосовно засобів РЕБ:

- підвищення ступеня автоматизації процесів розвідки і радіопридушення, застосування методів штучного інтелекту в системах управління комплексами РЕБ;
- розвиток безпілотних літальних апаратів, як засобів радіоелектронної боротьби;
- розвиток засобів РЕБ для індивідуального та групового захисту БТОТ, літаків та вертольотів, надводних кораблів та підводних човнів;
- розвиток багатофункціональних засобів та комплексів РЕБ для забезпечення спеціальних операцій та мобільних дій військ.

2. Стосовно засобів зв'язку, автоматизації управління та технічного захисту інформації:

Шляхи переоснащення ЗС України засобами РХБ-захисту

Розробка та модернізація:

- реактивного штурмового вогнемету;
- машини РХБ розвідки;
- комбінованого приладу РХБ розвідки;
- димової машини;
- багатофункціональної машини спеціальної обробки та рецептур для проведення спеціальної обробки;
- дистанційно-керованої системи димопуску;
- засобів індивідуального та колективного захисту особового складу.

Пропозиції щодо міжнародної співпраці:

- спільна розробка комбінованих приладів РХБ розвідки (хімічні та біологічні детектори);
- створення дистанційно-керованих засобів РХБ розвідки.



Засоби захисту



Перспективні зразки приладів РХБ розвідки



Димова машина



Багатофункціональна машина спеціальної обробки



машина РХБ розвідки

- розробка нових цифрових комплексних апаратних зв'язку;
- модернізація станцій тропосферного зв'язку;
- модернізація командно-штабних машин старого парку;
- модернізація апаратних зв'язку старого парку;
- розробка малогабаритних мобільних цифрових тропосферних радіорелейних станцій в контейнерному та переносному виконанні;
- розроблення нових засобів технічного захисту інформації та кібербезпеки.

3. *Стосовно засобів топогеодезичного та навігаційного забезпечення* планується створення:

- навігаційних систем на базі інерційних датчиків для визначення місцезнаходження в умовах застосування завад супутниковим навігаційним системам;
- універсального тактичного терміналу;
- модернізації існуючих навігаційних приймачів з метою покращення їх функціональних можливостей щодо завадозахисту, масо-габаритних показників та живлення;
- модернізація та розвиток геопросторової бази цифрових картографічних даних;
- для РВ і А – розробка супутникової або інерційних систем кутовимірювальної апаратури забезпечення наведення та стрільби.

4. *Стосовно засобів інженерного озброєння* пріоритетним завданням вважати створення:

- важкої броньованої машини розмінування;

- інженерно-саперної машини багатофункціонального призначення;
- інженерних боеприпасів та пристрою керування ними;
- модернізацію існуючого понтонного парку, плаваючого транспортера;

- розробку сучасного водолазного спорядження.

5. *Стосовно техніки РХБ захисту* створення:

- приладів розвідки бойових отруйних речовин та біологічних агентів;
- машини радіаційної, хімічної та біологічної розвідки;
- нових, високоефективних рецептур для проведення спеціальної обробки та технологій їх застосування;
- легкого штурмового вогнемету;
- вітчизняних протигазів ізолюючого типу;
- нових аерозольних засобів з маскувальним ефектом у міліметровому, інфрачервоному та видимому діапазонах спектру, а також технологій їх швидкого застосування.

6. *Стосовно ОБТ на нетрадиційних принципах дії* потрібно вирішити такі завдання:

- подальша практична реалізація положень розпорядження Кабінету Міністрів України та наказу МО України та ГШ ЗС України з цього питання;
- прийняття рішення щодо відкриття ДКР з розробки комплексу боротьби з БПЛА для потреб ЗС України у разі позитивних результатів випробувань



СТРУКТУРА КОНЦЕПЦІЇ ОСНАЩЕННЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ МОРСЬКИМИ РОБОТИЗОВАНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

7

1. **Визначення проблеми, яка потребує вирішення.**
2. **Аналіз причин виникнення проблеми та обгрутування необхідності її розв'язання.**
3. **Мета та завдання оснащення Збройних Сил морськими роботизованими комплексами.**
4. **Визначення оптимального варіанта оснащення Збройних Сил морськими роботизованими комплексами на основі порівняльного аналізу можливих варіантів.**
5. **Шляхи і способи оснащення Збройних Сил морськими роботизованими комплексами, строки реалізації концепції.**
6. **Очікувані результати реалізації концепції, визначення її ефективності.**
7. **Оцінка фінансових, матеріально-технічних та інших ресурсів, необхідних для реалізації концепції.**



експериментального зразка генератора спрямованого випромінювання;

– фінансування відповідних робіт, визначених у Державній цільовій оборонній програмі розвитку озброєння та військової техніки до 2022 року;

– організація роботи з отримання інформації щодо прикладних досліджень, розробок, впровадження, застосування в країнах НАТО зброї на нетрадиційних принципах дії;

– удосконалення нормативно-правової бази з регламентування порядку розроблення і випробувань несмертельної зброї та зброї на нетрадиційних принципах дії;

– міжвідомча координація і фінансування експериментальних медико-біологічних досліджень впливу модульованого радіочастотного випромінювання.

При цьому, особливого значення в системі ОВТ ЗС України, у тому числі ОВТ СпВ, набуватимуть зразки, комплекси і системи, у виробництві яких використовуватимуться новітні (високі, критичні) технології. Серед них, насамперед, нано- та інформаційні технології, технології, що пов'язані із створенням конструкційних матеріалів, генерування потужних імпульсів різнорідного випромінювання та інші.

Учасники засідання вважають, що у справі розвитку ОВТ СпВ актуальним є продовження та подальше розгортання тісної співпраці з науковими та науководослідними установами інших відомств, установами та підприємствами ОПК України тощо.

У роботі четвертої секції взяли участь представники структурних підрозділів МО та ГШ ЗС України, ОПК України, провідних НДУ та ВНЗ України тощо за напрямом розробок та досліджень військово-морських озброєнь.

Засіданням секції керував головний науковий співробітник НДУ ЦНДІ ОВТ ЗС України, д.т.н., проф. **Олександр РАССТРИГІН**.

На засіданні секції із вступною промовою “**Розвиток морських озброєнь та техніки ВМС, як невід’ємна частина розбудови та відновлення вітчизняних Військово-Морських Сил**” виступив виконуючий обов’язки начальника НДУ розвитку ОВТ ВМС ЦНДІ ОВТ ЗС України к.т.н., с.н.с. **Сергій РОЗГОНАЄВ**.

У його доповіді, а також у подальших виступах учасників засідання увагу присутніх було звернуто на таке.

1. Обґрунтоване визначення шляхів та способів оснащення ВМС ЗС України сучасними та перспективними зразками озброєння є одним з головних завдань ВТП держави. Вирішення цього важливого та складного завдання потребує урахування багатьох факторів, а саме:

реальних та потенційних викликів та загроз Україні у воєнній сфері;

технічного стану існуючих ОВТ ВМС ЗС України;

перспективного вигляду ВМС ЗС України зразка 2025 року;

можливостей вітчизняного ОПК щодо задоволення потреб ВМС ЗС України;

прогнозних можливостей держави щодо забезпечення розробок та закупівлі ОВТ ВМС гарантованими фінансовими ресурсами.

2. На сьогодні технічний стан ОВТ ВМС ЗС України продовжує залишатися на критичній межі, незважаючи на незначне поповнення основного корабельного складу новими катерами.

Це обумовлено, насамперед, такими факторами:

втратою основного складу бойових кораблів, значної кількості озброєння та боеприпасів до них у зв’язку з анексією РФ АР Крим;

закінченням термінів служби зразків ОВТ та комплектуючих виробів, що потребує впровадження заходів з їх відновлення шляхом закупівлі послуг з продовження призначених показників та виконання капітально-відновлювальних ремонтів;

відсутністю нормативних запасів технічного майна для супроводження експлуатації зразків ОВТ, які на цей час мають залишки ресурсних показників та не потребують відновлення.

3. Підтримання справності ОВТ ВМС ЗС України потребує нових підходів щодо вирішення проблемних питань утримання, технічного обслуговування, ремонту тощо.

4. Україна має певний науково-технічний та промисловий потенціал щодо розробки та виробництва (модернізації) окремих видів ОВТ ВМС ЗС України. В першу чергу це стосується радіолокаційного та гідроакустичного озброєння, суднобудування тощо. На жаль, досвід створення зенітного ракетно-артилерійського, мінно-торпедного озброєння в Україні відсутній.

5. Порядок утримання та подальшого переозброєння ОВТ ВМС ЗС України потребує міжвідомчої координації та єдиної цілеспрямованої ВТП держави тощо.

Виходячи з проведеного аналізу поточного стану ВМС ЗС України, наукової бази та ОПК України у сфері військово-морських озброєнь, учасниками конференції було запропоновано пріоритетними напрямками наукових досліджень за військово-технічною проблематикою розвитку ОВТ ВМС ЗС України на сучасному етапі вважати:

обґрунтування оперативного-тактичних і тактико-тактичних вимог до перспективних зразків ОВТ ВМС;

формування обґрунтованих ТТЗ на ДКР з розроблення (модернізації) зразків ОВТ номенклатури ВМС; обґрунтування підходів щодо переведення техніки номенклатури ВМС на експлуатацію за технічним станом;

удосконалення системи контролю технічного стану озброєння і військової техніки номенклатури ВМС;

розвиток інноваційних технологій для забезпечення модернізації та розробки нових зразків ОВТ ВМС ЗС України;

вирішення проблемних питань щодо продовження ресурсів (термінів експлуатації) корабельного складу ВМС ЗС України, мінно-торпедної зброї, авіаційної техніки, зенітних керованих ракет, ракетно-артилерійського озброєння;

вдосконалення системи науково-технічного супроводження розроблення (модернізації) ОВТ номенклатури

ВМС вітчизняними науково-виробничими підприємствами в ініціативному порядку за власні кошти;

удосконалення вітчизняної системи приймальних випробувань зразків ОВТ номенклатури ВМС;

сприяння вирішенню питань щодо цілеспрямовано-го державного фінансового та матеріально-технічного забезпечення заходів модернізації та створення нових зразків ОВТ ВМС ЗС України в межах відповідних державних цільових оборонних програм;

сприяння вирішенню питань щодо створення дієвої, цілісної міжвідомчої системи, яка спроможна забезпечити координацію та проведення єдиної ВТП в галузі створення нових зразків ОВТ ВМС ЗС України;

прийняття активної участі у заходах міжнародного військово-технічного співробітництва з питань використання досвіду, технологій, методик досліджень та ін. за напрямом розвитку ОВТ номенклатури ВМС, набутих в арміях провідних країн світу тощо.

Актуальним є продовження тісної співпраці у справі створення зразків ОВТ для ВМС України з науковими та науково-дослідними установами інших відомств, зокрема з НАН України.

У цілому, учасники конференції відмітили, що за останні роки в Україні є певні зрушення у позитивний бік щодо вирішення окремих питань технічного оснащення ЗС та військових формувань інших силових структур України новітніми та модернізованими

зразками ОВТ. У той же час, проблемних питань у цій сфері ще забагато. Тому треба наполегливо працювати над їх вирішенням.

Фахівці Інституту пропонують використовувати матеріали конференції при:

проведенні оборонного огляду сектору безпеки і оборони України;

проведенні огляду ОПК України;

розробці Державної програми розвитку ракетно-реактивного озброєння на період до 2030 року;

розробленні пропозицій під час формування Державної цільової оборонної програми розвитку ОВТ на наступні три роки;

опрацюванні пропозицій щодо розробки або коригування нормативно-правових актів з питань ВТП та військово-промислової політики тощо.

Основні матеріали конференції та тези доповідей її учасників опубліковані у збірнику тез (*Проблеми координації військово-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки: Тези доповідей на VII науково-технічній конференції*. Київ: ДНУ УкрІНТЕІ, 2019. 588 с.).

Матеріал підготували: провідні наукові співробітники ЦНДІ ОВТ ЗС України, к. т. н., **Борохвостов В.К.**, к. т. н., **Рябець О.М.**
Фото: **Лукьянов П.О.**

Resume

MILITARY TECHNICAL POLICY

Korobchenko S. O., *Head of the Research Department*

(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

<https://orcid.org/0000-0001-7650-5935>

NASA PROJECTS COST ESTIMATING PROCESS

The article provides the legislative framework for the life-cycle cost assessment process of the The National Aeronautics and Space Administration's projects, including the full cost of the system throughout its life span, from conceptual formulation, development, and production to the using, support and disposal stages.

The process of integrating cost data of the National Aeronautics and Space Administration of the United States of America into the budget and external activity reports and the procedure for submitting them to governmental authorities are considered.

The peculiarities of application of parametric methodology, engineering method and analogy method, which are used for estimation of life cycle costs of technical systems, their advantages and disadvantages are defined.

The basic stages of the 12-step cost estimation process of the National Aeronautics and Space Administration of the United States of America are analyzed, a detailed description of each phase is given, including the content and purpose of its tasks.

The essence and content of the process of planning, designing, budgeting and its implementation, which is adopted in the United States of America and adapted for the needs of the National Aeronautics and Space Administration of the United States of America are provided.

The purpose of this article is to provide the approaches of the National Aeronautics and Space Administration of the United States of America regarding project cost estimation, to evaluate the advantages and disadvantages of different methodologies for assessing of systems life cycle cost and review the regulatory features of United States legislation on the subject.

Keywords: life cycle cost, analogy method, parametric method, engineering method, project management, work breakdown structure, cost model, risk assessment, planning, design, budgeting and execution process, NATO publication, weapons and military equipment.

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

Holovin O. O., *Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher*

(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>

TAXONOMIC DISPLAY OF INFORMATION RESOURCES (DOCUMENTS) DEVELOPED DURING THE EXECUTION OF DEVELOPMENT WORK

The article shows that structural display as a separate document, and quite large in terms of the collection of documents, the most structurally realized in the form of a set of taxonomies. This approach provides a selection of classification unit's array text describing its semantics and destination, and reflects ordering interaction between terminological structures.

It is proposed to build a taxonomy based on a logic-linguistic model that looks like a growing pyramid network. This will allow us to process both non-numeric and numeric values of variables together, treating the latter as nominal values without determining the order of the order.

The relation of uniformity determines the interaction between the concepts of each taxonomy, distinguished from different classes of domain concepts. The formation of new taxonomies is based on a selection function.

Taking into account the requirements for the volume of documents, which define the whole regulation of the execution of experimental design works, a generalized component architecture of a single information environment for the execution of these works has been formed.

The information resources that are in that environment belong to the class that is determined by their multidimensionality, unclearness, variability of the nature of change processes over time, availability of information with limited access and multiple latent connections.

Providing profile experts and specialists with information-analytical tools to support rational decision-making is carried out based on analysis and evaluation of the narrative of information resources using modern cognitive IT technologies.

An indicative taxonomic structure of the decisions taken during the execution of works on the creation of armament and military equipment that can detect the risks of successful implementation of the development work in the early stages.

Keywords: information-analytical system, taxonomy, subject area, logical and linguistic models growing pyramidal network uniformity, narrative information resources

TACTICAL WHEELED VEHICLES

Hrubel M. P., *Candidate of Sciences, Associate Professor, Doctorant*

<https://orcid.org/0000-0002-4820-6935>

(Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv)

Krajnyk L. V., *Doctor of Engineering Sciences, Professor*

orcid.org/0000-0002-0524-9126

(Lviv Polytechnic National University, Lviv)

Kuprinenko O. M., *Doctor of Engineering Sciences, Senior Researcher*

<https://orcid.org/0000-0001-6692-0959>

(Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv)

METHODOLOGY OF MILITARY VEHICLES WHEEL PERFORMANCE ASSESSMENT

The comparative analysis of the known researches and approaches to the assessment of all-wheel drive vehicles of terrain crossing capacity in off-road conditions is carried out. The analysis shows that domestic approaches are based on traditional USSR principles that are different from those adopted in NATO countries in terms of indicators and evaluation criteria. At the same time, the basic principles of a vehicle motion theory for these approaches are common. Significant differences of approaches consist in the use of various indicators of the supporting-coupling characteristics of the driving surface.

It is determined that in the methodology of designating terrain crossing capacity of military automotive equipment (MAE) with the use of E soil deformation module there is no direct or indirect evaluation of MAE crossing capacity with known axle loads. In addition, it also defines a number of parameters of the supporting surface - the coefficient of adhesion, the angle of internal friction in soil and the shear modulus of track formation, that makes it much more complicated compared to techniques, used in NATO countries.

In NATO countries, a technique for experimental assessment of the relevant surfaces bearing capacity is applied, based on use of the Cone Index (CI). It takes into account soil moisture, surface characteristics of the theater of war, and allows the use of standardized computer software to determine the most rational routes and approximate speeds (time costs) for the corresponding movement of MAE. Based on the comparative analysis, the bases of the national normative base for assessing the terrain crossing capacity of MAE formation are substantiated, which take into account the experience of MAE using in modern military conflicts on the one hand, and on the other, the requirements for compatibility of domestic approaches with the approaches adopted in NATO countries.

Keywords: off-road, permeability, bearing surface, soil bearing capacity.

JAMMING WARFARE

Riabukha V. P., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-8607-9551>

Semeniaka A. V., Candidate of Technical Sciences

<https://orcid.org/0000-0002-1170-6151>

Katiushyn Ye. A., Researcher

<https://orcid.org/0000-0001-8200-7289>

(Scientific research Institute of Radar Systems “Kvant-Radiolokatsija”, Kyiv)

Zarytskyi V. I., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

<https://orcid.org/0000-0001-9047-8152>

(Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv)

Holovin O. O., Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

<https://orcid.org/0000-0003-4662-4559>

(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

DIGITAL ADAPTIVE SYSTEM OF RADAR PROTECTION AGAINST MASKING CLUTTER ON THE BASIS OF ADAPTIVE LATTICE FILTER

The article describes an exploratory model created with the modern electronic components for adaptive digital temporal processing of radar signals. It is designed to protect air surveillance radar and air traffic control radar against masking clutter. The exploratory model was created on the basis of a 5-step adaptive lattice filter (ALF). The use of ALF allows forming the necessary in signal processing functions of inverse covariance matrices, with no explicit estimation of these matrices, which provides a number of advantages compared with known filters of other structures. The most important of them are an enhanced numerical robustness to a limited word length and simplicity of taking into account possible a priori information on a specificity of receive-transmit radar system in order to enhance the adaptive processing efficiency.

The purpose of the article is to introduce reader with the created exploratory model, namely, with the functional scheme of the system of inter-period (pulse-to-pulse) signal processing against the background clutter, with its design features which allows it to be created and to prove the high efficiency of the proposed adaptive counter-interference system. To confirm the high efficiency of the developed adaptive counter-interference system some pre-testing results of exploratory model presented using digital records of real and simulated clutter. In particular, on the visual estimation of the results of the exploratory model and on its performance check.

Implementation of the developed adaptive counter-interference system based on the ALF will enhance detection quality of aerial targets including unmanned aircraft (UMAC) (drones, quadcopters, etc.) against the background clutter. It will save lives of servicemen and civil people in the combat area, reduce the material damage that may result the operation of unmanned aircraft, and enhance the competitiveness ability of homeland-radar at the world market.

Keywords: masking clutter, adaptive lattice filter, unmanned aircraft, temporal processing, adaptive counter-interference system, covariance matrix, radar system.

NAVY ARMAMENT & EQUIPMENT

Дерепа А. В., доктор технічних наук, старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

Лейко О. Г., доктор технічних наук, професор

<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>

Дрозденко О. І., кандидат технічних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>

(Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)

Святненко А. О., начальник науково-дослідного відділу

<https://orcid.org/0000-0002-2084-2243>

(Державне підприємство «Київський науково-дослідний інститут гідроапаратури», м. Київ)

ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ ГІДРОАКУСТИЧНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ З ВНУТРІШНІМИ ЕКРАНАМИ

Проведені дослідження властивостей електричних полів гідроакустичних п'єзокерамічних випромінювачів з внутрішніми акустично м'якими екранами в широкому діапазоні частот в залежності від розмірів екранів. Дослідження проведені з врахуванням взаємодії фізичних полів в процесі перетворення енергії та взаємодії п'єзокерамічної оболонки і екрану по акустичному полю при формуванні енергії в навколишньому просторі. Аналітичні співвідношення, що описують зазначені фізичні поля, зв'язані з спільним рішенням трьох диференціальних рівнянь – хвильового рівняння, рівняння електромеханічних коливань електропружної п'єзокерамічної циліндричної оболонки та рівняння стану цієї п'єзокерамічної оболонки. Встановлені закономірності в частотній поведінці повного, ємнісного та динамічного струмів електричного збудження випромінювачів гідроакустичних станцій і повного, активного та реактивного вхідних електричних опорів цих випромінювачів. Показано складність побудови пристроїв узгодження генераторів та випромінювачів в трактах випромінювання гідроакустичних станцій. Встановлено, що шляхом вибору розмірів внутрішніх екранів можна ефективно керувати параметрами електричних полів екранованих випромінювачів в різних частотних діапазонах роботи гідроакустичних станцій; при малих розмірах внутрішніх екранів і збереженні розмірів гідроакустичних випромінювачів в області низьких частот виникають нові резонансні частоти, які в 1,5–2 рази менші за значеннями ніж основна резонансна частота екранованого випромінювача, але з більшою ефективністю перетворення електричної енергії в акустичну. Встановлено, що при всіх розмірах внутрішніх екранів у всьому частотному діапазоні, за винятком окремих вузьких областей, ємнісний струм збудження випромінювачів суттєво перевищує його динамічний струм. Це вимагає обов'язкового застосування заходів щодо захисту випромінюючого тракту ГАС і ліній електричних комунікацій від перевантажень

Ключові слова: гідроакустичний п'єзокерамічний випромінювач, внутрішній акустичний екран, електричні схеми заміщення.

Rasstrygin O. O., Doctor of Technical Sciences, Professor

<https://orcid.org/0000-0002-1483-6111>

Zirka A. M., Candidate of Technical Sciences

<https://orcid.org/0000-0001-5304-2894>

Belyaev D. M., Candidate of Technical Sciences

<https://orcid.org/0000-0001-6707-554X>

(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

METHODOLOGY OF CALCULATION OF HYDRODYNAMIC LONGITUDINAL FORCE ESTIMATION ON THE BODIES OF PERSPECTIVE VELOCITY VEHICLES WHEN MOVING ON A WATER SURFACE OF DIFFERENT STATE

Methodical aspects of the building of the advanced methods is considered in article for estimations hydrodynamics longitudes power at calculation hydrodynamics features of the speed facilities, which move on water surface (the unmanned flying machines, without crew surface facilities, speed court, seaplanes, planning tools defeat, etc.).

In base of the methodical approach as one should simplifications of the decision of the problem by raising the spatial problem to flat method with use the flat sections.

Hydrodynamics of the sections on miscellaneous phase submersions of the sidebar in liquid is defined with use analytical theory: Vagnera or Sedova to closing has constrained; on connecting mode is used function Logvinovicha, a on mode after closing has constrained – a theory Bobileva. motion object studies is described by differential equations, which install the relationship between coordinate, velocity, speedups and power

and moment, which act on them. Hydrodynamics longitudes power liquids under bilge on all mode of the submersion is taken into account with use analogies of the wing. For modeling of the figure to water surface is used known in theories of the tossing of the nave irregular emotion model, a for hydrodynamics trace for object model on base of the concepts of the piercing layer. on mode to closing has constrained is used methods, which allows to elaborate the quantitative estimation a buttress weightless than count of the account of the influence weighty on effect of the counter motion to liquids.

The offered methods allows operative to calculate the hydrodynamics of the feature under investigation object with acceptable accuracy in step of conceptual shaping the type and requirements to such object.

Keywords: methods of the estimation hydrodynamics longitudes power, unmanned flying machines, speed court, tactician-specifications

Дідковський В. С., доктор технічних наук, професор

<https://orcid.org/0000-0002-0807-822X>

Коржик А. В., доктор технічних наук, професор

<https://orcid.org/0000-0001-6793-1676>

Найда С. А., доктор технічних наук, професор

<https://orcid.org/0000-0002-5060-2929>

(Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ)

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ДАЛЬНОСТІ ДІЇ СИСТЕМИ “НОСІЙ – ПІДВОДНИЙ АПАРАТ” ПО ГІДРОАКУСТИЧНОМУ КАНАЛУ ЗВ’ЯЗКУ В МІЛКОМУ МОРІ

В роботі представлено методику розрахунку енергетичної дальності дії гідроакустичного командно-інформаційного каналу зв’язку, який утворено в мілкому морі технічними засобами надводного корабля, модемом підводного автономного апарата та середовищем поширення акустичних хвиль. Наведено приклад, послідовність і порядок виконання розрахунків енергетичної дальності “передачі–прийому” повідомлень в заданих ймовірнісних обставинах. При цьому розглянуто дотичні до дальності характеристики командно-інформаційного каналу, шумове навантаження та вплив реверберації. В розрахунках використані основні особливості мілкового моря та їх вплив на енергетичну дальність. При проведенні розрахунків використано реальні технічні характеристики абонентів каналу підводного зв’язку, а в якості критеріїв надійного прийому повідомлення залучено критерії Неймана-Пірсона для максимізації правильного виявлення (тобто, надійного прийому) та мінімізації хибної тривоги. В якості повідомлення, що передається, обрано сигнал, компоненти якого подаються як елементи двійкового коду високого та низького рівня. Передача повідомлення здійснюється на частоті, яка є оптимальною частотою активної локації. Частота визначена з врахуванням оптимальності двох типів: оптимальність в сенсі рівності частотної смуги сигналу і частотної смуги прийомного тракту абонента та оптимальність в сенсі максимізації найбільш досяжної дальності для даної частоти. Завадова ситуація представлена сумарним тиском (сумарною інтенсивністю) активних пошкод, що викликані шумами моря та корабля. Тиски шумів приведено до входу акустичних антен абонентів з урахуванням завадостійкості акустичних антен, а також поправок на частоту і швидкість. Робоче середовище представлено мілким морем. Встановлено, що залучена до розрахунків система “надводний корабель – підводний апарат” та обране робоче середовище впливають на організацію каналу підводного зв’язку відповідно до заданих критеріїв ймовірнісного характеру та забезпеченням штатної дальності і швидкості передачі даних. Надано рекомендації щодо коригування основних характеристик режимів кодового зв’язку, показано шляхи вдосконалення існуючих методик схожих напрямків та подальших досліджень.

Ключові слова: гідроакустичний підводний канал, інтерференція, реверберація, оптимальні частоти

ARTILLERY WEAPONS & SMALL ARMS

Hurnovych A. V., *Doctor of Technical Sciences*

<https://orcid.org/0000-0002-2041-4978>

Kuchynsky A. V., *Candidate of Technical Sciences*

<https://orcid.org/0000-0003-2424-3026>

Kuchynska O. B., *Junior Researcher*

<https://orcid.org/0000-0003-3403-4180>

Lapitsky S. V., *Doctor of Technical Sciences, Professor*

<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>

Maistrenko O. A., *Candidate of Technical Sciences*

<https://orcid.org/0000-0001-9701-7359>

Trofymenko V. H., *Research Associate*

<https://orcid.org/0000-0002-8750-9111>

(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

METHODICAL APPROACH TO DETERMINATION OF BALLISTIC COEFFICIENT OF BALLS IN POLYGON CONDITIONS

The method that allows to determine the ballistic coefficient of a bullet on the basis of universal expressions of the empirical description (according to G7 standard) based on the value of its initial speed and the reduction of the flight path over a distance of 100... 200 m is considered. This method allows to determine the ballistic coefficient of the bullet (G7 standard) without the use of a specialized measuring laboratory, that is, in conditions of unmanaged shooting range. The only metrology equipment that is required for the job is a portable device for determining the initial velocity of a bullet, which is quite common among shooters because it has relatively little cost.

Dependency formation is performed on the basis of the central plan, which describes the area of values of the process under study, since the existence of a region of non-existent values does not allow to apply a uniform plan. In addition, the studied range of initial velocities of the bullets is divided into three sub-ranges to ensure that all the points of the central plan are included in the area of the existing values.

This approach allows, based on the determined coefficient of the bullet, to calculate its velocity at an arbitrary distance during armor testing in field conditions without the use of bulky equipment.

The reliability of the description of the studied process is ensured by the application of the mathematical model of motion of the bullet in the air as the motion of a solid body, based on a system of four first order differential equations.

The adequacy of universal expressions of the empirical description of the dependence of the ballistic coefficient of bullets (G7 standard) on the initial velocity of the bullet and the reduction of the trajectory of its flight by a distance of 100 ... 200 meters is verified by determining the value of the standard deviations of values obtained on the basis of a mathematical model and using their mathematical model by comparison with the measurement error of the ballistic coefficient.

Keywords: ballistic coefficient, empirical method, second order polynomial (quadric), first order differential equations.

TARGET ACQUISITION & SIGHTING SYSTEMS

Senatorov V. M., *Candidate of Technical Sciences, Senior Scientist*

<https://orcid.org/0000-0001-5387-5693>

(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

Senatorov M. V., *Candidate of Technical Sciences*

(UA.RPA Ltd, Kyiv)

USING OF HELMET MOUNTED DISPLAY SYSTEM IN ARMY

As have shown the last International exhibitions of armament and military equipment, Helmet-mounted display system (HMDS), which at first has been used in aviation, now is using widely in Army: work place of

transport mean commander, operator of unmanned aggregate, shooter equipment etc.). Advantages of that system to onboard display are following: information will correspond to real view direction in specified coordinates at combination with protective helmet positioning system; information will be saved at any random head position. Besides that, there is disengaged place on transport instrumentation panel, because of some onboard displays are excluding (its function is executing by HMDS).

Design problems of HMDS are connected with following:

Perception of collimated image by transport mean operator. On author's opinion, that problem may be solved by natural experiment with involving of skilled operators of different kind transport means.

Choosing of image former. Standard format OLED displays are most suitable for that purpose.

Dimensional and aberration calculations for chosen optical scheme. Approached to designing of refractive, reflective and holographic schemes are considered in paper.

Arrangement of display on protective helmet or operator head. The requirements to arrangement of HMDS on protective helmet are mentioned there.

RADIO-TECHNICAL FACILITIES

Grozdov A. A., Chief of Department

<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>

(Central Electronic Warfare Management of Main Operation Providing Management of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

Zibin S. D., Research Associate

<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>

Popov A. O., Candidate of Technical Science

<https://orcid.org/0000-0002-8560-617X>

Tverdochlibov V. V., Candidate of Technical Science, Senior Researcher

<https://orcid.org/0000-0002-6802-9796>

(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

METHOD OF FORMING ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY GROUP EVALUATION WITH RESPECT TO GROUND COMMUNICATION SYSTEMS

The necessity of forming electromagnetic compatibility (EMC) group evaluation is substantiated with respect to ground communication systems. It is shown that this problem is stipulated by considerable number of communication systems operating simultaneously, unwanted emissions of their transmitters, and also the properties of receivers of receiving emissions differing from communication systems operational frequencies. The basis for the purpose of synthesizing the suggested EMC group evaluation method is the known method of forming EMC pair evaluation whose content is considered rather briefly without deducing formulas. We show that the known method do not allow correctly calculating EMC zones with respect to communication systems with antennas of arbitrary type. This technique is adapted by the authors concerning the problem of plotting EMC zones for operating pair of communication systems (transmitter – receiver) with arbitrary antenna patterns basing on the proposed spatial-energetic model of a functioning communication system, that allow visualizing EMC zones for arbitrary types of antenna systems. Plotting EMC zones for operating pair of communication systems is implemented on the basis of deducible parametric equation of the curves defining EMC zone boundary. We consider the examples of both direct and indirect EMC problem solution with plotting EMC zones for the cases of coincidence and distinction between operational frequencies of investigated pair of communication systems and interfering system. EMC group evaluation is formed by calculating the signal to group interference relationship, so that group interference presenting in the input of the receiver of operating pair of communication systems is represented in the form of additive sum of mutual interference created by each of transmitter from the investigated group of communication systems. We establish the relationship deduced to plot the problem (from the standpoint of providing necessary EMC level) zones. We consider the example representing the result of EMC group evaluation for operating pair of communication systems considered within dislocation of mechanized brigade deployed for defensive actions; so that we take into account interference influence of not only communication systems of this brigade, but also

communication systems of neighbour brigade. All the calculations are executed with respect to radios PRC-9651, PRC-9661 produced by Aselsan company, Turkey. Analysis of obtained results implies the conclusion that dimensions of problem EMC zones could be decreased by two main ways: first, exploiting the communication systems with relatively small level of spurious emission, and second, exploiting communication systems that are capable to provide satisfactory channel capacities when the interference immunity coefficient is small, i.e., when exploiting communication systems using wideband signals.

Keywords: electromagnetic capacity, communication system, group of communication systems, operating pair of communication systems, EMC pair evaluation, EMC group evaluation, interference immunity, interference immunity coefficient, signal -to-group interference relationship

PRODUCTION, MODERNIZATION, MAINTENANCE

Bilokur M. O., *Doctoral Student*

<https://orcid.org/0000-0002-2954-8497>

(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

GETTING OUTPUT DATA FOR MEASUREMENT OF COST STAGE OF THE LIFE CYCLE "OPERATION" STAGE

Weapons samples maintenance is carried out at the stages of their life cycle on the basis of actions coordination of the customer and consumer with involving of wide range of organizations from the main developer to the co-executors, which do not exclude the occurrence of conflict situations. This leads to the problem of implementing the optimal synthesis of such a complex system and does not allow to direct efforts to achieve the extreme of the target function of the system as a whole. Therefore, the emergence of such a problem and the existing conflicts in the process of determining the means of providing arms to military formations is considered as a complex organizational system, and the difficulties of direct solution of the problem of optimal synthesis in this case are related to:

- the interconnections of a complex system (between systems of the lower level and elements of the system);*
- the limited programming abilities;*
- the construction of a mathematical model, etc.;*
- and it causes the need to find solutions to this problem.*

The methods developed at present paper allow analytically to calculate the technical perfection of the weapons samples that are considered for providing military formations, as investigated when choosing for procurement or development. Such tasks are deterministic, but, considering costs at all stages of the life cycle, its may be stochastic (probable ones) that can be solved by expert methods. At present, the list and content of the source data when choosing ways of providing weapons are not defined at all stages. Thus, having its strictly non-formalized, the statement of the problem of synthesis is carried out under conditions of uncertainty, which in most cases is solved by heuristic methods, which in turn allow elements of subjectivity.

Having determined the list and content of the initial data, it is possible to pre-implement the calculations in cost form (strictly mathematical) in the form of expenses, having carried out the projection of expenditures at the stage of the weapon's life cycle, and such a list to be chosen according to the criterion of the problem of synthesis, while defining the criteria of the restrictions, and to use these data for assessing the quality of this type of weapons and the cost of the stages of their life cycle. Also, in case of incomplete receipt of such data in cost form, with their partial, such an assessment will allow to imperfect of choosing ways of providing arms in the medium term. Even if this method is not analytical, then the relevant statistics will help to reduce the degree of uncertainty and subjectivism when choosing ways to provide armed skills by expert means.

Keywords: weapons and military equipment, data source, life cycle.

UNCONVENTIONAL WEAPONS

Biloborodov O. O., *Candidate of Technical Sciences*

<https://orcid.org/0000-0003-3166-2659>

Dovhopoly A. S., *Doctor of Technical Sciences, Professor*

<https://orcid.org/0000-0001-9227-9771>

(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

**TECHNOLOGIES OF INFORMATION-PSYCHOLOGICAL WARS
AND INFORMATION-PSYCHOLOGICAL WEAPONS**

The realities of today are the wide impact on the consciousness of people of modern technologies of information-psychological impact. The article analyzes the technology of information-psychological impact on a person and public consciousness. Views on the methodological and organizational foundations of the conduct of information-psychological wars are examined. To influence the human consciousness, methods of media manipulation on television and in social networks are used. The latest impact techniques use psychometric technology and Big Data. The most perfect development of the methods of information-psychological impact was consensual warfare. In addition, methods of influencing the human subconscious are actively used, such as neuro-linguistic programming and psycho-correction. The technological foundations of information-psychological wars are considered. Specialized software and hardware tools for processing and analyzing content, supporting decision making on attacking actions and counteracting the enemy are proposed. Recent studies of the influence of various physical factors on the psychophysiological state of a person, the formation of the necessary mental states in the population, and the synchronization of the use of influence factors with socially important events are considered. The methods of direct impact on the psychophysiological state of a person are analyzed. Information about the use of acoustic means during anti-terrorist, police operations, as well as during operations to impose democracy is summarized. The methods of direct impact on the psychophysiological state of a person are analyzed. The methods and means of information-psychological struggle used by enemy regimes in relation to Ukraine and its own population are considered.

Keywords: information-psychological warfare, confrontation, methods and means of waging information warfare, manipulation

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

Шановні читачі!!!

Доводимо до Вашого відома, що в нашому видавництві пройшли суттєві зміни щодо оформлення та подання статей до нашого видання.

По-перше, відкрито сайт журналу, на якому більш докладніше викладені вимоги до наших публікацій. Ознайомитися можна за посиланням

[https:// journal.cndiovt.com.ua](https://journal.cndiovt.com.ua)

По-друге, звертайтеся до редакції журналу за

телефоном: **+38(097)389-79-10,**

Чучмій Андрій Володимирович,

E-mail: a_chuchmiy@ukr.net

E-mail: cndi_ovt@mil.gov.ua.

Дата друкування 21.11.2019. Формат 60 x 84 1 / 8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Друк офсетний.
Обсяг 20,15 ум. др. арк., 12 обл.-вид. арк. Наклад 250 прим. Зам. № 1758-4.

Видавничий дім Дмитра Бураго

Свідоцтво про внесення до державного реєстру ДК № 2212 від 13.06.2005 р.
04080, Україна, м. Київ-80, а / с 41

Тел. / факс: (044) 227-38-28, 227-38-48; **e-mail:** info@burago.com.ua, **site:** www.burago.com.ua