

ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА

4(36)

2022

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

ЩОКВАРТАЛЬНИК
ВИДАЄТЬСЯ 3 СІЧНЯ 2014 РОКУ

Керівник проекту, голова редакційної ради
Чепков І.Б., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)

Голова редакційної колегії
Дерепя А.В., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Заступник голови редакційної колегії
Васківський 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.П., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Блінцов В.С., д.т.н. (НУК)
Борковски Яцек, д.т.н. (ВІТО), Польща
Бронк Джастін, к.т.н. (ОЮД), Великобританія
Грінченко В.Т., акад., д.ф.-м.н. (ІГ НАНУ)
Гурнович А.В., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Дідовський В.С., д.т.н. (НТУУ КПІ)
Довгополий А.С., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Животовський Р.М., к.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Зубарев В.В., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Коростельов О.П., д.т.н. (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)
Латицький 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 «Івченко-Прогрес»)
Олійник Б.О., д.т.н. (ДП «ЛОРАТА»)
Растригін 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.т.н. (НАСВ)
Толубко В.Б., д.т.н. (ДУТ)
Харченко О.В., д.т.н. (ДНДІА)
Шевцов М.М., к.т.н. (ОЗСУ)

Розглянуто та схвалено до друку
науково-технічною радою
ЦНДІ ОВТ ЗС України
(протокол № 12 від 15.11.2022)

Підписано до друку 15.12.2022.
Формат 60 x 84 1/8. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 13,02. Наклад 250 прим. Зам. 401.

Надруковано в ТОВ «Видавничий дім "Бук-Друк"»
Україна, м. Житомир, вул. Мала Бердичівська, 17А
Тел.: +38063 101 22 33
Свідоцтво серія ДК №7412 від 27.07.2021 р.

Адреса редакції:

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

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

Журнал входить до переліку наукових фахових
видавн. Міністерства освіти і науки України,
категорія Б (наказ №1643 від 28.12.2019)



© ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2022

У НОМЕРІ

ВОЄННО-ТЕХНІЧНА ПОЛІТИКА

Шаповал П. І., Чернега М. А., Бичков А. М., Докучаєв О. В. Залежність військової
техніки російської федерації від комплексувальних виробів виробництва країн
НАТО та Європейського Союзу (країн партнерів) 3

ЗЕНІТНІ РАКЕТНІ КОМПЛЕКСИ

Зубарев В. В., Ланецький Б. М., Лук'янчук В. В., Ніколаєв І. М., Зверєв О. О.,
Методологічні аспекти створення і використання математичних моделей
для обґрунтування тактико-технічних вимог до систем (комплексів) зенітного
ракетного озброєння 10

Зверєв О. О., Меленко Ю. Я., Петрук С. М., Рамішов Д. В. Створення вітчизняного
мобільного зенітного ракетного комплексу малої дальності на базі авіаційних ракет
для боротьби з крилатими ракетами російської федерації в умовах воєнного стану 20

АВТОМОБІЛЬНА ТЕХНІКА

Нор П. І., Гребенюк О. М., Шарана В. В., Почернін С. П. Оцінка техніко-
економічного рівня спеціалізованих зразків військової автомобільної техніки 29

РАКЕТНІ КОМПЛЕКСИ

Zvershkhovskiy I. V., Zirka M. V., Kuchynska O. B. Technological aspects of constructing
a missile's control system with complexing coordinators in the presence of functional
connection between them and mutual correction (Звершховський І. В., Зірка М. В.,
Кучинська О. Б. Технологічні аспекти побудови системи управління ракети
з комплексуванням координаторів при наявності функціонального зв'язку
між ними та взаємної корекції) 35

Полегенько О. Ф., Гаврилюк А. О. Методологічні підходи до скорочення обсягу
перевірок при проведенні випробувань дослідних зразків ракетного озброєння 45

РАДІОТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ

Камалтинов Г. Г., Тютюнник В. О., Бєлавін О. В., Шкнай О. В. Шляхи
підтримання працездатності радіоелектронної техніки радіотехнічних
військ у післягарантійний період 49

Ковбасюк О. В., Костина О. М., Башкиров О. М., Оникієнко Л. С. Методика
досліджень радіоелектронних компонентів зразків озброєння
та військової техніки російської федерації 56

РАДІОЕЛЕКТРОННА БОРОТЬБА

Білецька А. В., Зібін С. Д., Твердохлібов В. В. Перспективні напрямки
розвитку засобів та техніки радіоелектронної боротьби 68

СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПРИЦІЛЮВАННЯ

Батурін В. А., Литвинов П. О., Пустовойтов С. О., Роєнко О. Ю. Розробка
інжектора іонів берилію для технологічної установки з виготовлення
інфрачервоних фотоприймачів для систем наведення 79

ТЕХНІКА ТА ОЗБРОЄННЯ ВІЙСЬКОВО-МОРСЬКИХ СИЛ

Derepa A. V., Kocharian O. O., Leiko O. O., Shishkova K. A. Analysis of possible ways
of technical implementation of powerful acoustic radiation by hydroacoustic stations
(Дерепя А. В., Кочарян О. О., Лейко О. Г., Шишкова К. А. Аналіз
можливих шляхів технічної реалізації потужного акустичного випромінювання
гідроакустичними станціями) 86

Колесник В. В., Позднякова О. М., Агейкін С. М. Щодо створення системи
протимінної оборони територіального моря України 92

ВИПРОБУВАННЯ, ПОЛІГОННО-ВИПРОБУВАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ

Ланецький Б. М., Коваль І. В., Лук'янчук В. В., Селезньов С. В., Попов В. П.
Модель формування даних багатократно цензурованих вибірок за результатами
експлуатаційних випробувань безперевірочних зенітних керованих ракет
на збережуваність 98

Шишианов М. О., Веретнов А. О., Чеченкова О. Л. Методичні основи системного
аналізу технічного рівня тренажерів для індивідуальної підготовки особового
складу Збройних Сил України 106

WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

4(36)
2022

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

QUARTERLY
PUBLISHED SINCE JANUARY 2014

TABLE OF CONTENTS

MILITARY TECHNICAL POLICY

Shapoval P. I., Chernega M. A., Bychkov A. M., Dokuchaiev O. V. Dependence of the military equipment of the Russian Federation on complete products manufactured by the countries of NATO and the European Union (partner countries) 3

AIR DEFENCE SYSTEMS

Zubarev V. V., Lanetskii B. M., Lukianchuk V. V., Nikolaev I. M., Zvieriev O. O. Methodological aspects of creation and use simulation mathematical models for justification tactical and technical requirements for systems (complexes) anti-aircraft missile weapons 10

Zvieriev O. O., Melenko Yu. Ya., Petruk S. M., Ramshov D. V. Creation of a domestic short-range mobile aircraft missile complex based on aviation missiles for fighting the Russian Federation's cruise missiles in the conditions of a state of martial 20

TACTICAL WHEELED VEHICLES

Nor P. I., Hrebenyk O. M., Sharapa V. V., Pochernin S. P. Assessment of technical and economic level of specialized samples of military automotive equipment 29

MISSILE SYSTEMS

Zvershkhovskiy I. V., Zirka M. V., Kuchynska O. B. Technological aspects of constructing a missile's control system with complexing coordinators in the presence of functional connection between them and mutual correction 35

Polegenko O. F., Gavriluk A. O. Methodological approaches to reducing the volume of checks when conducting tests of experimental samples of missile weapons 45

RADIO-TECHNICAL FACILITIES

Kamaltynov G. G., Tyutyunnyk V. O., Bielavin O. V., Shknaï O. V. Directions of maintenance of state of operability of radioelectronic equipment of radars troops in the post-warranty period 49

Kovbasiuk O. V., Kostyna O. M., Bashkyrov O. M., Onykhienko L. S. Research methodology of radioelectronic components of weapons and military equipment samples of the Russian Federation 56

ELECTRONIC WARFARE

Biletska A. V., Zibin S. D., Tverdochlibov V. V. Promising directions of development of radio-electronic warfare means and techniques 68

TARGET ACQUISITION & SIGHTING SYSTEMS

Baturin V. A., Litvinov P. O., Pustovoitov S. O., Roenko O. Yu. Development of a beryllium ion injector for a technological installation for the production of infrared photodetector for guidance systems 79

NAVY ARMAMENT & EQUIPMENT

Derepa A. V., Kocharian O. O., Leiko O. O., Shishkova K. A. Analysis of possible ways of technical implementation of powerful acoustic radiation by hydroacoustic stations 86

Koliesnik V. V., Pozdniakova O. M., Aheikin S. M. State and trends of mine defense development of leading countries of the world and development of recommendations for the creation of the mine defense system of territorial sea of Ukraine 92

TESTING, TEST SITES

Lanetskii B. M., Koval I. V., Lukianchuk V. V., Seleznev S. V., Popov V. P. A model for generating multi-censored samples by the results of service tests of surface-to-air missiles to be stored without running tests aimed at finding their remaining shelf life 98

Shishanov M. O., Veretnov A. O., Chechenkova O. L. Methodical bases of systems analysis of trainers technical level for personnel individual preparation of the armed forces of Ukraine 106

Project Manager, Editorial Director
Chepkov I.B., DEng (CRI AME AFU)

Editorial Director

Derepa A. V., DEng (CRI AME AFU)

Deputy of Editorial Director

Vaskivskyy M.I., DEng (CRI AME AFU)

Executive Secretary of Editorial Board

Glazkova S.V., PhD (CRI AME AFU)

Editorial Board:

Bisyk S.P., DEng (CRI AME AFU)

Blintsov V.S., DEng (NUS)

Borkovsky Yatssek, DEng (WITA), Poland

Bronk Justin, PhD (RUSI), England

Hrinchenko V.T., acad., DEng (IG NASU)

Hurnovych A.V., DEng (CRI AME AFU)

Didkovskyy V.S., DEng (NTUU KPI)

Dovhopolyi A.S., DEng (CRI AME AFU)

Zhyvotovskyy R.M., PhD (CRI AME AFU)

Zubarev V.V., DEng (CRI AME AFU)

Korostelyov O.P., DEng («SKDB» Luch)

Kuprinenko O.M., DEng (Hetman Petro Sahaidachnyi NAA)

Kucher D.B., DEng (NI NU «OMA»)

Kucherov D.P., DEng (NAU)

Kuchynskyy A.V., PhD (CRI AME AFU)

Lanetskyy B.M., DEng (KNUAF)

Lapytskyy S.V., DEng (CRI AME AFU)

Leyko O.H., DEng (NTUU KPI)

Lukhanin M.I., DEng (CRI AME AFU)

Mitrakhovych M.M., DEng (SE Ivchenko-Progress)

Oliarnyk B.O., DEng (SE «LSP» LORTA)

Rasstryhin O.O., DEng (CRI AME AFU)

Sydorenko Yu.M., DEng (NTUU KPI)

Slyusar V.I., DEng (CRI AME AFU)

Chabanenko P.P., DScMil, (CRI AME AFU)

Chepkov I.B., DEng (CRI AME 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., PhD (AAFU)

Reviewed and approved for publication by Science and Engineering Board (record No.12 of 15.11.2022)

Signed for print on 15.12.2022
Conditional printed sheets 13.02. Format 60x84 1/8.
Circulation 250 copies. Order number 401.

Published by «Publishing house "Book-Druk"» LLC
Ukraine, Zhytomyr, street Mala Berdychivska, 17A
Phone: +38063 101 22 33
Certificate DK № 7412 dated 27.07.2021 p

Editorial address:

Ukraine, 03049, Kyiv

28, Povitroflotsky Ave

tel.: (044) 271-0966

fax: (044) 520-12-84

E-mail: cnidi_ovt@ukr.net

Site: <https://journal.cndiovt.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 Category B (order No.1643 of 28.12.2019)



УДК 621.396.6:006.83

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4\(36\).3-9](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).3-9)

П. І. ШАПОВАЛ, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0002-8892-0228>

М. А. ЧЕРНЕГА, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0003-0194-4989>

А. М. БИЧКОВ, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0003-2391-4190>
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

О. В. ДОКУЧАЄВ, кандидат технічних наук
(Управління Служби Безпеки України в Луганській і Донецькій областях, м. Київ)

ЗАЛЕЖНІСТЬ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ ВІД КОМПЛЕКТУВАЛЬНИХ ВИРОБІВ ВИРОБНИЦТВА КРАЇН НАТО ТА ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ (КРАЇН ПАРТНЕРІВ)

Після вторгнення російської федерації в Україну про-
ти окупанта ввели технологічні обмеження, які вда-
рили по його можливостях виробляти сучасну зброю.
У статті описано залежність російської військової
техніки від комплектувальних виробів іноземного ви-
робництва та подальший вплив санкційної політики
провідних країн світу на систему постачання комп-
лектувальних виробів для виробництва озброєння та
військової техніки держави-агресора.

Ключові слова: комплектувальні вироби, озброєн-
ня, військова та спеціальна техніка, інтегральна мі-
кросхема, аналогова інтегральна мікросхема, цифрова
інтегральна мікросхема, санкції.

ВСТУП

З оголошенням правового режиму воєнного стану у
зв'язку з початком збройної агресії російської федерації
проти України, в Міністерстві оборони України створе-
но науково-аналітичні групи за всією номенклатурою
озброєння, військової та спеціальної техніки (ОВТ) ви-
дів та родів Збройних Сил України, одним із основних
завдань яких є постійне здійснення моніторингу най-
кращих розробок ОВТ та досягнень оборонної науки,
зокрема країн-партнерів. Під час здійснення вищеза-
значеної діяльності при дослідженні захоплених в ході
бойових дій вузлів, агрегатів та елементів в ОВТ, що
використовує російська федерація (рф), було виявлено
комплектуючі вироби (КВ) іноземного виробництва
(ІВ), які були виготовлені відомими виробниками про-
відних країн світу.

Метою статті є розкриття залежності підприємств
оборонно-промислового комплексу (ОПК) рф під час
розроблення, модернізації та виробництва зразків ОВТ
в рф від КВ ІВ.

Науково-прикладну цінність для посилення санкційної
політики України мають одержані результати аналізу
залежності ОПК рф від наявності КВ ІВ на виробництво
ОВТ, що приведені в цій публікації.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У ході бойових дій під час збройної агресії рф проти
України було досліджено зразки ОВТ: крилата ракета
типу 9М727 оперативно-тактичного ракетного комплексу
«Іскандер-К»; стратегічна авіаційна крилата ракета типу
«Х-101»; 300-мм керований реактивний снаряд 9М549
комплексу «Торнадо-С»; зенітний ракетний комплекс
«ТОР-М2»; БМД-4М «Садівниця» бойова машина де-
санту 4-ї моделі з бойовим модулем «Бахча-У»; основний
бойовий танк Т-72Б3М; броньовий автомобіль КамАЗ-63968
«Тайфун-К»; авіаційна керована ракета класу «повітря
– поверхня» Х-59МК; БпАК повітряна мішень Е95М;
безпілотний літальний апарат «Орлан-10»; безпілотний
літальний апарат «Елерон»; малогабаритний передавач
перешкод РП-377УВМ1Л; засекречувальна апаратура
зв'язку «Т-231-2А»; портативна радіостанція Р-187-П1
«Азарт-П1»; переносна УКХ радіостанція Р-168-5УН-1;
переносна УКХ радіостанція Р-168-5УН-2; возина УКХ
радіостанція Р-168-25У-2; переносна КХ/УКХ радіостан-
ція Р-353НК, танк Т-72Б3 з багатоканальним прицільним
комплексом «Сосна-У»; бойовий ударний вертоліт Ка-52
«Алігатор», комплекс управління і зв'язку військової роз-
відки КРУЗ-ВР «Стрілець», Машина ІВ119 «Реостат»,
комплект АСП Р-330Ж «Житель», протикорабельна ра-
кета П-800 «Онікс».

Під час детального дослідження зазначених зразків
ОВТ, їх фрагментів (уламків) було виявлено факти вико-
ристання КВ ІВ, а саме:

– схеми/мікросхеми: США (Intel, XILINK, SPAN-
SION, CYPRESS, ALTERA, MACOM, Advanced Micro
Devices, Analog Devices Inc, Texas Instruments, Microchip
Technology, Vishay Inter technology, Cypress Semiconductor,
Integrated Device Technology, Maxim Integrated, Toshiba
America Electronic Components, SMC Corporation, AMD

Xilinx, Z-Communications Inc., ON Semiconductor); Японія (Renesas Electronics Corporation, HITACHI Semiconductor Ltd); Нідерланди (Nexperia, NXP Semiconductor); Тайланд (Advanced Micro Devices); Тайвань (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company); Китай (Pulse Electronics; MCL Electronic Materials Ltd.; Toshiba Electronic Device and Storage Corporation, Nexperia);

- процесори: США (Marvell Technology Group, Analog Devices, Integrated Device Technology, Intel, XILINK, Altera Corporation, Texas Instruments);

- контролери/мікроконтролери: США (ZILOG, Microchip Technology Inc, Analog Devices, Atmel Corporation, Silicon Labs, Microchip Technology); Швейцарія (ST Microelectronics); Нідерланди (NXP Semiconductor);

- матриці: США (XILINX, International Business Group & North America Headquarters, Texas Instruments); Велика Британія (Consumer Microcircuits Limited);

- оперативна пам'ять/флеш-пам'ять: США (Micron, Alliance Memory, Spansion Inc, ATMEL Corporation, Cypress Semiconductor, Gumstix); Швейцарія (Numonix);

- конденсатори: США (MAXIM, Kemet Electronic Components); Японія (Nippon Instruments Corporation); Швеція (RIFA); Тайвань (Taiwan Semiconductor Manufacturing Company);

- резистори/транзистори: США (Onsemi, Texas Instruments, M/A-COM Technology Solutions Inc., Semelab/TT Electronics, ST Microelectronics); Швейцарія (TE Connectivity Ltd); Великобританія (Semelab Ltd.); Китай (VBSEMI; Inchange Semiconductor Company Limited); Японія (Renesas Electronics Corporation); Філіппіни (Ampleon);

- осцилятори/вузлові гнізда: США (Motorola, Inc); Німеччина (Die HARTING Technologiegruppe); Велика Британія (Golledge Electronics Ltd); Тайвань (Lite-On Technology Corporation);

- регулятори напруги/живлення: США (Analog Devices Inc, Motorola, Vicor, Texas Instruments, Linear Technology Corporation, Traco Electronic Company Limited);

- акумулятори: Китай (Shenzhen Joy Battery Technology Co.);

- датчик тиску: США (Freescale Semiconductor); Нідерланди (NXP);

- камери/тепловізори/оптика: США (Bourns Inc); Японія (Sony Group Corporation); Франція (Thales);

- цільнометалокордні шини: Франція (Compagnie Générale des Établissements Michelin);

- гідропневматична вибухостійка підвіска: Ірландія (Timoney Technology Limited);

- модульне дисперсно-керамічне бронювання та протимінні сидіння: «Plasan Terra» Ізраїль (Plasan);

- п'ятиточкові системи фіксації: Великобританія (SECURON);

- конектори: США (Amphenol Aerospace); Франція (Souriau);

- дисплей: Тайвань (Bolumin Inc.);

- двигун: Японія (Saito).

На даний час в рф з КВ для виробів спеціального призначення склалася така ситуація [1–3].

1. У спецтехніці в основному використовуються КВ, а саме електронно-компонентна база (ЕКБ) розробки 1980-х і навіть 1970-х рр. і лише 3 % ЕКБ, застосовуваної у ОВТ, розроблено після 1990 р. [4].

2. Якість та надійність сучасної ЕКБ виробництва рф не тільки не відповідає світовому рівню, а й багатьом позиціям поступається «доперебудовним» зразкам. Причин цьому декілька, серед них такі.

2.1. Зниження культури виробництва та якості продукції на підприємствах-виробниках ЕКБ:

- на багатьох підприємствах немає сучасного технологічного обладнання, а це не дозволяє вдосконалювати виробничі процеси та й контрольно-вимірювальна техніка або застаріла, або в належному обсязі відсутня, а при низьких обсягах замовлень це спонукає виробників до згортання випробувальних та контрольно-вимірювальних служб – так у результаті знижується якість продукції, багатьма споживачами ЕКБ суттєво зросла засміченість потенційно ненадійними ЕКБ елементів, що поставляються або просто не відповідають стандартним вимогам документів на постачання (ОТУ, ТУ);

- не вистачає кваліфікованих кадрів, багато підприємств не мають коштів ні на підготовку спеціалістів, ні на гідну зарплату для них;

- експертні перевірки виявляють чимало порушень технологічної дисципліни на кожному підприємстві, внутрішні перевірки, як правило, виконуються тільки для звітності, а не для забезпечення необхідної якості;

- якщо раніше інформаційні системи категорії «ОС» на багатьох підприємствах виготовлялися на окремих технологічних лініях, то тепер виготовлення ЕКБ ІВ всіх категорій («1», «5» та «9»), як правило, здійснюється на одній і тій виробничій ділянці. Різниця у комплексі вихідних випробувань, тобто перевірки на відповідність різному набору технічних вимог і якщо вироби із прийманням «1» – не якісні, навряд чи варто очікувати, що їх «побратими» з прийманням «5» і «9» принципово відрізнятимуться від них [5];

- якість і доступність вихідних матеріалів залишає бажати кращого, сьогодні в рф практично відсутнє виробництво кремнію електронної чистоти.

2.2. Організаційна криза:

- скасовано багато структур (управління, НДІ, відділи), що займаються питаннями якості та надійності ЕКБ як в електронній промисловості, так і в галузях – споживачах ЕКБ;

- порушені або ослаблені зв'язки між постачальниками та споживачами ЕКБ;

- практично зруйновано централізовану систему збору, обліку та аналізу відмов ЕКБ як у сфері виробництва, так і під час експлуатації виробів, що не дозволяє планувати та здійснювати коригувальні заходи у технологічному процесі їх виготовлення [5].

2.3. Наявна формальна сертифікація. Впровадження системи якості відповідно до ISO 9000 (або [6] – для військової техніки) автоматично не забезпечує випуск якісної продукції. Якщо на підприємстві при випуску продукції все було з дотриманням системи якості, то сертифікація лише підтвердить це, але відомі випадки, коли сертифікат вручається лише на підставі «вірної» оформлених документів.

3. Недостатня радіаційна стійкість ЕКБ. Ця проблема найбільш гостро стоїть для ракетно-космічної техніки.

4. Відсутність ЕКБ виробництва рф, необхідної для ремонту та технічного обслуговування систем ОВТ, розроблених у 1970–80-х рр., але, як і раніше, що знаходяться в експлуатації підприємства, зазвичай припиняють випуск такої ЕКБ у зв'язку з малими обсягами замовлень та низькою рентабельністю.

5. У нових зразках російської ОВТ використовується від 40 до 95 % ЕКБ ІВ. За потреби більш ніж 15 тис. найменувань ЕКБ виробляти все це в росії немає сенсу [7].

6. Поширення контрафактної ЕКБ переважно ІВ. Контрафактна ЕКБ стала причиною невдалих запусків супутників, ракетноносіїв, збоїв у роботі космічних апаратів «ГЛОНАСС» та ін. [8]. Якщо ЕКБ виробництва рф для спецвиробів, як раніше, так і зараз, купується, як правило, безпосередньо у виробника (навіть у разі малих партій), то відомі зарубіжні фірми-виробники ЕКБ реалізують свою продукцію великими партіями через офіційних дистриб'юторів, в яких у свою чергу купується ЕКБ іншими підприємствами-посередниками.

У будь-якому випадку контрафактна дешевша ЕКБ видається за дорожчу та якісну, причому вона може виконувати ті ж функції, але у вужчому діапазоні зовнішніх впливів та з меншою швидкістю, володіти меншим терміном служби, а іноді й просто бути муляжом [3]. Основні прийоми, які використовують виробники та постачальники контрафактної ЕКБ [9, 10], наступні:

- перемаркування ЕКБ із зміною коду підприємства-виробника, дати виготовлення;
- фальсифікація протоколів випробувань, сертифікатів відповідності;
- постачання неврахованої ЕКБ, виготовленої в неробочий час і яка не пройшла необхідний комплекс перевірок і випробувань;
- встановлення в корпус кристалів, що не відповідають встановленим вимогам (наприклад, з меншою швидкістю або мають дефекти) і т. д.

Традиційно під час планування ДКР зі створення ЕКБ виробництва рф використовувалися заявки розробників і виробників ОВТ та їх складових частин на потрібну номенклатуру ЕКБ. В якості основного індикатора при плануванні та оцінці виконання застосовувалася повнота реалізації мінімального функціонально необхідного переліку виробів ЕКБ (МФНПВ) для створення перспективної ЕКБ для ОВТ.

Структурно МФНПВ складається з наступних розділів [3, 8, 11, 12]:

- ЕКБ виробництва рф, включена до розділу 1 «Переліку ЕКБ, дозволеної для застосування при розробленні, модернізації, виробництві та експлуатації озброєння, військової та спеціальної техніки 01-22» (Перелік ЕКБ) [11];
- типи ЕКБ, що розробляються;
- не відтворювані типи ЕКБ.

Кількість розроблюваних типів ЕКБ визначається, виходячи з аналізу значень, заданих у технічних завданнях на дослідно-конструкторські роботи з розробки ЕКБ, що проводяться на замовлення Мінпромторгу рф. Під не відтворюваними типами ЕКБ розуміються ті, які через відсутність на підприємствах рф технологій не мо-

жуть бути в даний час відтворено. Інформація про них знаходиться шляхом аналізу виробничо-технологічних можливостей підприємств рф, зайнятих розробленням і виробництвом ЕКБ, і міститься в затверджених планах-графіках номенклатури.

Повнота реалізації МФНПВ характеризується відношенням розроблених та включених на момент проведення аналізу в розділі 1 Переліку ЕКБ виробів ЕКБ до повного МФНПВ, що включає перелік не відтворюваних, розроблюваних і розроблених (включених до Переліку ЕКБ) типів ЕКБ. Незважаючи на простоту і наочність такого аналізу, він має істотний недолік, який полягає в тому, що враховується лише кількість розроблених і підлягаючих розробці номенклатурних позицій ЕКБ без оцінки її структурних та вартісних параметрів [3, 11].

Для якісного планування та оцінки ефективності як програми імпортозаміщення в цілому, так і її окремих компонентів, необхідний повноцінний деталізований аналіз застосовності ЕКБ ІВ та ЕКБ виробництва рф у зразках ОВТ, щоб врахувати не тільки перелік застосовуваних номенклатурних позицій, але також кількісні та вартісні обсяги її використання з оцінкою структури її застосування, санкційних ризиків та інших параметрів, що впливають на загальну оцінку.

Проведення поглибленої структурної оцінки частки застосування ЕКБ ІВ та виробництва рф за номенклатурними показниками, а також у кількісних та вартісних показниках за наступними параметрами [2]:

- за групами країн-виробників ЕКБ;
- за розділами Переліку ЕКБ;
- щодо країн-виробників ЕКБ ІВ з урахуванням рівня агресивності санкційної політики, яку проводять країни НАТО і ЄС щодо рф;
- на підприємствах-виробниках ЕКБ;
- щодо заходів імпортозаміщення, що проводяться щодо елементів ЕКБ ІВ;
- за змістом не відтворюваної ЕКБ ІВ у зразках ОВТ;
- за змістом системоутворюючої ЕКБ у зразках ОВТ.

Аналіз по кожному з параметрів проводиться окремо за номенклатурою застосовуваних виробів ЕКБ, за загальною кількістю застосовуваних виробів ЕКБ та вартості застосовуваної ЕКБ.

При цьому під номенклатурним показником застосування розуміється кількість не уніфікованих номенклатурних позицій у специфікаціях аналізованої групи ОВТ. Кількісний показник – це загальна кількість застосованої ЕКБ з урахуванням середньорічної кількості вироблених виробів ОВТ, в яких вона застосована. Вартісний показник застосовності – це вартісна оцінка застосованої ЕКБ, проведена за аналізованою групою ОВТ, у цінах, актуальних на даний момент проведення аналізу [2].

Під час проведення аналізу розраховуються наступні показники [2].

1. Частка застосування ЕКБ ІВ, що використовується у зразках ОВТ. Оцінка частки застосування ЕКБ ІВ виконується шляхом розрахунку частки застосування ЕКБ ІВ окремо за номенклатурою застосовуваних виробів ЕКБ, за загальною кількістю застосовуваних виробів ЕКБ ІВ та вартості ЕКБ ІВ, що застосовується.

Розрахунок коефіцієнтів номенклатурної застосування ЕКБ ІВ проводиться за формулою:

$$K_{\text{ном.ІВ}} = \frac{N_{\text{ном.ІВ}}}{N_{\text{ном.всього}}} 100\%, \quad (1)$$

де $K_{\text{ном.ІВ}}$ – частка номенклатури ЕКБ ІВ у зразках ОВТ, відповідно; $N_{\text{ном.ІВ}}$ – кількості номенклатурних позицій ЕКБ ІВ у зразках ОВТ, відповідно; $N_{\text{ном.всього}}$ – загальна кількість номенклатурних позицій ЕКБ у зразках ОВТ.

Аналогічно проводиться аналіз за кількісними і вартісними параметрами, а також розрахунок частки системоутворюючої ЕКБ щодо загальних показників у номенклатурному, кількісному та вартісному виразі.

2. Частка застосування системоутворюючої ЕКБ, що використовується у зразках ОВТ, за групами країн-виробників.

Аналіз частки застосування системоутворюючої ЕКБ в ОВТ проводиться щодо надвисокочастотних виробів та виробів мікроелектроніки (з 1-го та 2-го розділів Переліку ЕКБ). Оцінка виконується шляхом розрахунку частки застосування системоутворюючої ЕКБ за номенклатурою, загальною кількістю та вартістю даної ЕКБ для кожної групи країн-виробників ЕКБ за формулою:

$$K_{\text{с/у ном.ІВ}} = \frac{N_{\text{с/у ном.ІВ}}}{N_{\text{с/у ном.всього}}} 100\%, \quad (2)$$

де $K_{\text{с/у ном.ІВ}}$ – частка номенклатури системоутворюючої ЕКБ ІВ щодо загальної кількості номенклатури системоутворюючої ЕКБ, що застосовується у зразках ОВТ, відповідно; $N_{\text{с/у ном.ІВ}}$ – кількості номенклатурних позицій системоутворюючої ЕКБ ІВ у зразках ОВТ, відповідно; $N_{\text{с/у ном.всього}}$ – загальна кількість номенклатурних позицій системоутворюючої ЕКБ у зразках ОВТ.

Аналогічно проводиться аналіз за кількісними та вартісними параметрами.

3. Частка застосування ЕКБ, що використовується у зразках ОВТ, за розділами Переліку ЕКБ з розподілом за групами країн.

Оцінюється окремо за номенклатурою, загальною кількістю та вартістю ЕКБ, що застосовується по кожному з 22 розділів Переліку ЕКБ з розподілом за групами країн та розрахунком загальних вагових коефіцієнтів для кожного розділу Переліку ЕКБ. Розрахунок проводиться за формулою:

$$K_{i \text{ розд ном.ІВ}} = \frac{N_{i \text{ розд ном.ІВ}}}{N_{i \text{ розд ном.всього}}} 100\%, \quad (2)$$

де $K_{i \text{ розд ном.ІВ}}$ – коефіцієнт застосування ЕКБ ІВ для і-го розділу Переліку ЕКБ з номенклатури, відповідно; $N_{i \text{ розд ном.ІВ}}$, $N_{i \text{ розд ном.всього}}$ – кількості номенклатурних позицій ЕКБ ІВ та загальна кількість номенклатурних позицій ЕКБ, що застосовуються у зразках ОВТ, для і-го розділу Переліку ЕКБ, відповідно.

Загальний ваговий коефіцієнт застосування за номенклатурою для і-го розділу Переліку ЕКБ визначається за формулою:

$$K_{i \text{ розд ном.всього}} = \frac{N_{i \text{ розд всього}}}{N_{\text{ном.всього}}} 100\%. \quad (3)$$

Аналогічно проводиться аналіз за кількісними та вартісними параметрами.

4. Частка застосування ЕКБ ІВ, що використовується у зразках ОВТ, за країнами-виробниками ЕКБ з ранжуванням за рівнем агресивності санкційної політики, що проявляється країнами НАТО та ЄС щодо рф.

У рамках цього аналізу всі країни з групи НАТО і ЄС залежно від агресивності введеної ними санкційної політики щодо рф розділені на три підгрупи:

- підгрупа А (агресивно): США, Великобританія, Польща, Канада, Латвія, Литва, Франція, Німеччина, Фінляндія, Японія, Італія, Австрія, Нідерланди;
- підгрупа Б (помірковано агресивно): Швейцарія, Ірландія, Ізраїль, Індія, Південноафриканська Республіка;
- підгрупа В (нейтрально): Китай, Північна Корея, Іран та країни ОДКБ.

Склад країн, що входять до цих підгруп, актуалізується за результатами аналізу зовнішньо-неполітичної ситуації, що складається, не рідше одного разу на рік. Оцінка частки застосування використовуваної у зразках ОВТ ЕКБ ІВ виконується для кожної з цих країн, окремо за номенклатурою, загальною кількістю та вартістю ЕКБ. Аналіз ЕКБ ІВ країн групи «НАТО та ЄС» проводиться з угрупованням за рівнем агресивності санкційної політики, що проводиться ними щодо рф. Розрахунок проводиться за формулою.

$$K_{i \text{ держ.ном.}} = \frac{N_{i \text{ держ.ном.}}}{N_{\text{ІВ ном.всього}}} 100\%, \quad (4)$$

де $K_{i \text{ держ.ном.}}$ – коефіцієнт застосування ЕКБ ІВ для і-ї країни за номенклатурою; $N_{i \text{ держ.ном.}}$, $N_{\text{ІВ ном.всього}}$ – кількості номенклатурних позицій ЕКБ ІВ, що застосовуються у зразках ОВТ, для і-ї країни та загальне, відповідно.

Аналогічним чином проводиться розрахунок за кількісними та вартісними параметрами.

5. Частка застосування ЕКБ у зразках ОВТ на підприємствах-виробниках ЕКБ.

Оцінка виконується за номенклатурними, кількісними та вартісними показниками з розрахунком чи до участі кожного підприємства-виробника ЕКБ. Результати аналізу ранжуються за виробниками ЕКБ за рівнем частки їхньої участі у створенні зразків ОВТ. Розрахунок проводиться за такою формулою:

$$K_{i \text{ вир.ном.}} = \frac{N_{i \text{ вир.ном.}}}{N_{\text{ном.всього}}} 100\%, \quad (5)$$

де $K_{i \text{ вир.ном.}}$ – коефіцієнт застосування ЕКБ для і-го виробника за номенклатурою; $N_{i \text{ вир.ном.}}$, $N_{\text{ном.всього}}$ – кількості номенклатурних позицій ЕКБ, що застосовуються у зразках ОВТ, для і-го виробника.

Аналогічно оцінюється частка участі кожного виробника в кількісних та вартісних показниках.

6. Частка ЕКБ ІВ, щодо якої виконуються заходи імпортозаміщення відповідно до затверджених планів-графіків (внутрішніх планів).

Оцінка виконується шляхом розрахунку відношення кількості елементів ЕКБ ІВ, за якими виконуються заходи імпортозаміщення відповідно до затверджених планів-графіків або внутрішніх планів, до загальної кількості ЕКБ ІВ, що застосовується в ОВТ, за номенклатур-

ними, кількісними та вартісними показниками. Параметри аналізуються за кожною групою способу виконання заходів з імпортозаміщення (розробка уніфікованого російського аналога, заміна на освоєний у промисловому виробництві російський аналог, заміна на аналог зарубіжного виробництва або зміна логістики поставок, створення страхового запасу). Розрахунок проводиться за такою формулою:

$$K_{IB \text{ н/з.ном.}} = \frac{N_{IB \text{ н/з.ном.}}}{N_{IB \text{ ном.всього}}} 100\%, \quad (6)$$

де $K_{IB \text{ н/з.ном.}}$ – коефіцієнт наявності елементів, $N_{IB \text{ н/з.ном.}}$ – кількість номенклатурних позицій ЕКБ ІВ, що застосовуються у зразках ОВТ, щодо яких виконуються заходи імпортозаміщення відповідно із затвердженими планами-графіками або внутрішніми планами, за номенклатурним показником, відповідно.

Так само оцінюються кількісні та вартісні показники.

7. Частка не відтвореної ЕКБ ІВ.

При проведенні аналізу у ОВТ визначаються всі елементи ЕКБ, віднесені до Переліку ЕКБ ІВ, які не можливо відтворити, що застосовується в ОВТ, розробленому ФДУП «МНДІРП».

Оцінка виконується шляхом розрахунку частки застосування не відтвореної ЕКБ ІВ за номенклатурними, кількісними та вартісними показниками. Розрахунок проводиться за формулою:

$$K_{\text{невідт.ном.}} = \frac{N_{\text{невідт.ном.}}}{N_{\text{ном.всього}}} 100\%, \quad (6)$$

де $K_{\text{невідт.ном.}}$ – коефіцієнт застосування не відтвореної ЕКБ ІВ за номенклатурою; $N_{\text{невідт.ном.}}$ – кількість не відтворених номенклатурних позицій ЕКБ ІВ у зразках ОВТ.

Оцінка застосування не відтвореної ЕКБ ІВ за кількістю та вартістю проводиться аналогічно.

ВИСНОВКИ

Проведені за викладеним вище алгоритмом розрахунку дозволяють провести повноцінний структурний аналіз застосування ЕКБ ІВ у зразках ОВТ рф за всіма ключовими параметрами, що характеризують залежність російської радіоелектронної галузі від застосування ЕКБ ІВ.

Так з'являється можливість не тільки загальної оцінки застосування номенклатури ЕКБ ІВ, а також аналізу кількісних і вартісних параметрів залежності ОПК рф від ЕКБ ІВ з деталізацією по кожній аналізованій групі ЕКБ (НВЧ, мікроелектроніка, пасивна ЕКБ, з'єднувачі і т. д.). Ця оцінка особливо важлива для виявлення областей ЕКБ, найбільш залежних від іноземної продукції ОПК рф, і використовується владними структурами рф при прийнятті рішень щодо підтримки та розвитку саме таких напрямків розробки ЕКБ.

З іншого боку подібний підхід дозволяє комплексно оцінити вплив окремих іноземних держав на створення ОВТ підприємствами ОПК рф. Дане знання особливо важливо в умовах збройної агресії з боку рф проти України та дозволить постійно нарощувати санкційний тиск на ОПК рф.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Рейтинг организации радиоэлектронной промышленности России. АО «ЦНИИ «Электроника». 2020. С. 44.
2. Боков С., Саутина А., Фенюк Ю. Общий структурный анализ применимости электронной компонентной базы отечественного и иностранного производства в радиоэлектронной промышленности. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. №10 (00201). 2020. С. 106–109.
3. Положение о перечне электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники (РЭК 05.001-2015), утвержденное министром промышленности и торговли Российской Федерации 24.03.2015 и введенное в действие коллегией ВПК России 25 июня 2015 года.
4. Борисов Ю. Электронная промышленность России: стратегия развития. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2006. № 8. С. 4–10.
5. Качество продукции радиоэлектронного комплекса России. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2004. № 7. С. 12–20.
6. ГОСТ РФ 15.002-2003. Система разработки и постановки на производство. Военная техника. Системы менеджмента качества. Общие требования. Государственный комитет РФ по стандартизации и метрологии. Введ. 2003-01-01. М.: Изд-во стандартов. 2004. 46 с.
7. Кобзарь Д. Процедурные вопросы применения электронных средств в военной технике: нормативная база и правда жизни. Современные технологии автоматизации. 2007. № 3. С. 86–97.
8. Савинов Ю.А., Федоренко К.П. Обратная сторона международной кооперации. Российский внешнеэкономический вестн. 2012. № 7. С. 34–59.
9. Абрамович И.Л., Жулинский С.Ф., Ковалев Б.М. Входной контроль – инструмент защиты от контрафактной элементной базы. Методы менеджмента качества. 2013. № 3. С. 40–48.
10. Урличич Ю., Данилин Н. Контрафактная продукция на рынке электронных компонентов. Современная электроника. 2006. № 5. С. 6–8.
11. Перечень ЭКБ, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники 01-22-2020. Мытищи: ФГУП «МНИИРИП». 2020.
12. Иевлев В.И., Филиппов Г.А. Качество и надежность электронной компонентной базы ЭВМ специального назначения: учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ. 2013. 102 с.

REFERENCES

1. "Reityng organizatsii radioelektronnoi promyshlennosti rossii" [Rating of the organization of radio electronic industry of Russia], AO «CNYU «Elektronika». 2020. P. 44.
2. Bokov, S., Sautyna, A. & Fenjuk, Ju. (2020), "Obschyi strukturnyi analiz pryemiamosti elektronnoi komponentnoi bazy otechestvennogo i inostrannogo proizvodstva v radioelektronnoi promyshlennosti" [General structural analysis of the applicability of the electronic component

- base of domestic and foreign production in the radio electronic industry], Elektronika: Nauka, Tehnologii, Biznes. № 10(00201). Pp. 106–109.
3. “Polozhenie o perechne elektronnoi komponentnoi bazy, razreshennoi dlia prymeneniia pri razrabotke, modernizatsii, proizvodstve i ekspluatatsii vooruzheniia, voennoi i spetsialnoi tekhniki (REK 05.001-2015)” [Regulation on the list of the electronic component base permitted for use in the development, modernization, production and operation of weapons, military and special equipment (REK 05.001-2015)] utverzhdennoe ministrom promyshlennosti i torgovli rossiiskoi federatsii 24.03.2015 i vvedennoe v deistvie kollegiei VPK rossii 25 iunია 2015 goda.
 4. Borysov, Ju. (2006), “Elektronnaia promyshlennost rossii: strategii razvitiia” [Electronic industry of russia: development strategy], Elektronyka: Nauka, Tehnologii, Byznos. № 8. Pp. 4–10.
 5. “Kachestvo produktsii radioelektronnogo kompleksa rossii” [The quality of production of the radio-electronic complex of russia], Elektronika: Nauka, Tehnologii, Biznes. 2004. № 7. Pp. 12–20.
 6. GOST RF 15.002-2003 (2004), “Systema razrabotki i postanovki na proizvodstvo. Voennaia tekhnika. Systemy menedzhmenta kachestva. Obschie trebovaniia” [GOST RF 15.002-2003. Development and production system. Military equipment. Quality management systems. General requirements], Gosudarstvennyi komitet rf po standartizatsii i metrologii. Vved. 2003-01-01. M.: Izd-vo standartov. 46 p.
 7. Kobzar, D. (2007), “Protседurnye voprosy prymeneniia elektronnykh sredstv v voennoi tekhnike: normativnaia baza i pravda zhyznii” [Procedural questions of the use of electronic means in military equipment: the normative basis and the truth of life], Sovremennye tekhnologii avtomatizatsii. № 3. Pp. 86–97.
 8. Savynov, Ju.A. & Fedorenko, K.P. (2012). “Oborotnaia storona mezhdunarodnoi kooperatsii” [Reverse side of international cooperation], rossiiskii vneshneekonomicheskii vestn. № 7. Pp. 34–59.
 9. Abramovich, Y.L., Zhulynskiy, S.F. & Kovalev, B.M. (2013). “Vhodnoi kontrol – instrument zaschyty ot kontrafaktnoi elementnoi bazy” [Entrance control – a tool for protection against counterfeit element base], Metody menedzhmenta kachestva. № 3. Pp. 40–48.
 10. Urlychych, Ju. & Danylyn, N. (2006). “Kontrafaktnaia produktsiia na rynke elektronnykh komponentov” [Counterfeit production on the market of electronic components], Sovremennaia elektronyka. № 5. Pp. 6–8.
 11. “Perechen EKB, razreshennoi dlia prymeneniia pri razrabotke, modernizatsii, proizvodstve i ekspluatatsii vooruzheniia, voennoi i spetsialnoi tekhniki 01-22-2020” [List of EKB approved for use in the development, modernization, production and operation of weapons, military and special equipment 01-22-2020], Mytyschy: FGUP «MNYRYRP». 2020.
 12. Yevlev, V.Y. & Fylyppov, G.A. (2013). “Kachestvo i nadezhnost elektronnoi komponentnoi bazy EVM spetsialnogo naznacheniia: uchebnoe posobie” [Quality and reliability of the electronic component base of a computer of special purpose: textbook], Ekaterynburg: UrFU. 102 p.

**Shapoval P., Chernega M., Bychkov A.,
Dokuchaiev O.**

DEPENDENCE OF THE MILITARY EQUIPMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION ON COMPLETE PRODUCTS MANUFACTURED BY THE COUNTRIES OF NATO AND THE EUROPEAN UNION (PARTNER COUNTRIES)

After the invasion of the russian federation into Ukraine, technological restrictions were introduced against the aggressor, which affected the capabilities of the russian federation to produce modern weapons, the article describes the dependence of russian military equipment on foreign-made components and the subsequent impact of the sanctions policy of the world's leading countries on the supply system of components for the production of weapons and military equipment of the russian federation.

Calculation algorithm presented in the article will allow a full-fledged structural analysis of the application of the electronic component base of foreign production in samples of military and special equipment of the russian federation according to all the key parameters that characterize the dependence of the russian radio electronics industry on the use of the electronic component base of foreign production.

Thus, it becomes possible not only to make a general assessment of the application of the nomenclature of the electronic component base of foreign production, but also to analyze the quantitative and cost parameters of the dependence of the defense-industrial complex of the russian federation on the electronic component base of foreign production, with details for each analyzed group of the electronic component base. This assessment is particularly important for identifying areas of the electronic component base that are most dependent on foreign products of the russian defense-industrial complex, and is used by the russian authorities when making decisions regarding the support and development of precisely such areas of development of the electronic component base.

On the other hand, such an approach allows for a comprehensive assessment of the influence of individual foreign countries on the creation of military and special equipment by the enterprises of the defense and industrial complex of the russian federation. This knowledge is especially important in the conditions of armed aggression by the russian federation against Ukraine and will allow to constantly increase the sanctions pressure on the defense and industrial complex of the russian federation.

Keywords: complete products, weapons, military and special equipment, integrated microcircuit, analog integrated microcircuit, digital integrated microcircuit, sanctions.

Відомості про авторів:

Шаповал Петро

кандидат технічних наук

начальник науково-дослідної лабораторії науково-дослідного управління воєнно-технічної політики Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-8892-0228>
e-mail: peterihorovich@ukr.net

Чернега Майя

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник науково-дослідного відділу обґрунтування основних напрямів розвитку систем озброєння збройних сил науково-дослідного управління воєнно-технічної політики Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0194-4989>
e-mail: nnipo@i.ua

Бичков Антон

кандидат технічних наук
начальник науково-дослідної лабораторії автоматизації наукових досліджень Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2391-4190>
e-mail: an_bychkov@ukr.net

Докучаєв Олег Володимирович

кандидат технічних наук
Управління Служби Безпеки України в Луганській і Донецькій областях
м. Київ, Україна

Information about the authors:**Shapoval Petro**

Candidate of Technical Sciences
Head of the research laboratory of research department of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8892-0228>
e-mail: peterihorovich@ukr.net

Chernega Maïia

Candidate of Technical Sciences
Senior researcher of research department of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0194-4989>
e-mail: nnipo@i.ua

Bychkov Anton

Candidate of Technical Sciences
Head of the Research Laboratory of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2391-4190>
e-mail: an_bychkov@ukr.net

Oleg Dokuchaiev

Candidate of Technical Sciences
Department of Security Service of Ukraine in Luhansk and Donetsk regions
Kyiv, Ukraine

УДК 355.424:518.5

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4\(36\).10-19](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).10-19)

В. В. ЗУБАРЕВ, доктор технічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0002-4998-726X>

Б. М. ЛАНЕЦЬКИЙ, доктор технічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0001-5889-0307>

О. О. ЗВЕРЄВ, кандидат технічних наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0003-2274-3115>
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

В. В. ЛУК'ЯНЧУК, доктор технічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0001-5695-7723>

І. М. НИКОЛАЄВ, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0002-1250-9918>
(Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків)

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО СИСТЕМ (КОМПЛЕКСІВ) ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ

Сформульовані науково-методологічні аспекти рішення задачі обґрунтування тактико-технічних вимог до систем (комплексів) зенітного ракетного озброєння на етапі зовнішнього проектування з використанням інтерактивних систем імітаційного моделювання, які описують процеси конфліктно-інформаційної взаємодії системи (комплексу) зенітного ракетного озброєння з засобами повітряного нападу. Обґрунтовано, що ці системи моделювання повинні бути сукупністю взаємозв'язаних аналітичних, імітаційних та статистичних моделей, що описують процеси функціонування систем (комплексів) зенітного ракетного озброєння у складі тактичної групи зенітних ракетних військ при виконанні бойових задач альтернативними варіантами складу їх бойових засобів. Показано, що суть задачі обґрунтування тактико-технічних вимог полягає у визначенні сукупності раціональних значень показників і характеристик, якими система (комплекс) зенітного ракетного озброєння повинна володіти для виконання бойових задач в прогнозованих умовах ведення бойових дій. Наведені вимоги до моделей імітаційного моделювання, перелік основних подій, які мають фіксуватися в процесі моделювання протиповітряного бою, перелік заходів щодо

інформаційного забезпечення процесів моделювання бойових дій, перелік початкових даних і порядок їх підготовки, а також послідовність застосування моделей для отримання оцінок показників ефективності протиповітряних бойових дій системами (комплексами) зенітного ракетного озброєння.

Ключові слова: обґрунтування, зенітна ракетна система, тактико-технічні вимоги, тактико-технічні характеристики, інтерактивна система імітаційного моделювання.

ВСТУП

Сучасні системи і комплекси зенітного ракетного озброєння (ЗРО) є складними виробами військової техніки, які включають в свій склад значну кількість бойових і технічних засобів (підсистем), що забезпечують вирішення усього комплексу задач знищення аеродинамічних і балістичних засобів повітряного нападу (ЗПН) в широкому діапазоні висот і швидкостей їх практичного застосування [1, 2]. Загальною закономірністю розвитку ЗРО є безперервне його ускладнення, що супроводжується істотним збільшенням термінів розробки, витрат на їх створення і серійне виробництво.

Безперервне зростання бойових можливостей ЗПН та підвищення їх ролі в досягненні стратегічних цілей сучасної війни [3, 4] висувають нові вимоги до якості обґрунтування оперативно-тактичних і тактико-технічних вимог (ТТВ) до перспективної системи (комплексу) ЗРО конкретного типу на етапі її концептуального проектування [5, 6]. Під ТТВ розуміють певну номенклатуру тактико-технічних (ТТХ) і експлуатаційно-технічних характеристик (ЕТХ) і параметрів, що повністю визначають бойові та експлуатаційні властивості системи (комплексу) ЗРО. Ухвалення недостатньо обґрунтованих рішень стосовно номенклатури і значень основних ТТХ і ЕТХ може привести до невиправданих витрат матеріальних засобів і втрати часу, а у кінцевому випадку – до зриву створення системи (комплексу) ЗРО. Тому задача обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО на теперішній час має актуальне значення.

Досвід бойових дій розвинених країн світу показує, що ефективним інструментом обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО повинна бути технологія повномасштабного моделювання, яка враховує особливості застосування системи (комплексу) за призначенням з урахуванням особливостей її функціонування в різних прогнозованих умовах бойового застосування.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблема створення сучасних видів ЗРО на базі нових досягнень в науково-технологічній сфері знаходить своє віддзеркалення у великій кількості монографій, статей та інших публікацій, число яких в розвинених країнах світу з кожним роком росте. Всі ці публікації по ступеню значущості і обхвату цієї проблеми можуть бути розділені на три групи, до першої з яких відносяться монографії та інші наукові праці [1, 2, 7–11], до другої – періодичні видання і наукові статті [3, 4, 12–21], а до третьої – правові, нормативні, організаційно-методичні та інші документи [22, 23]. Серед цих робіт важливе міс-

це займають монографії [1, 2, 7–10], в яких з системної точки зору визначені шляхи розвитку і впровадження в зразки озброєння та військової техніки нових технологій на основі програмно-цільового і еволюційно-технологічного підходів.

В умовах наявності широкого спектру обмежень (економічного, виробничого, військово-політичного, військово-технічного і оперативного-тактичного характеру) завдання обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу зводиться до завдання прогнозного оцінювання їх основних ТТХ, ЕТХ і техніко-економічних характеристик на основі аналізу можливих сценаріїв бойових дій в майбутніх військових конфліктах. Аналіз результатів приведених досліджень показує, що рішення цієї задачі ускладнюється недостатньою опрацьованістю науково-методичного апарату обґрунтування ТТВ до перспективних систем (комплексів) ЗРО. До теперішнього часу немає чіткого розуміння алгоритму визначення і логічної побудови усієї послідовності ТТХ і ЕТХ системи (комплексу) ЗРО конкретного типу, які відповідають вирішуваним завданням і мають оптимальне співвідношення «ефективність – вартість».

Мета статті – сформулювати методологічні аспекти щодо створення і використання моделей бойових дій для вирішення задачі обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу на етапі її зовнішнього проектування.

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ МОДЕЛІ ТА ЇЇ ОБГОВОРЕННЯ

Метою створення моделі бойових дій є визначення раціональних значень ТТХ та оцінка показників бойової ефективності системи (комплексу) ЗРО при оптимальному значенні її основних ТТХ. Спосіб реалізації моделі повинен полягати у формалізованому описі логіки функціонування перспективної системи (комплексу) ЗРО, яка пропонується до розробки, відповідно до своїх аналогів в реально протікаючому процесі. При моделюванні необхідно відобразити склад, структуру і алгоритми бойового функціонування системи (комплексу) ЗРО. При цьому залежно від мети моделювання можуть застосовуватися різні варіанти складу, структури та алгоритмів функціонування системи (комплексу) ЗРО для різних варіантів оцінки її бойової ефективності. Ця вимога передбачає необхідність розробки моделі конкретної системи (комплексу) ЗРО як складну модель її підсистем, які представляються взаємозв'язаними компонентами.

Труднощі вирішення задачі обґрунтування ТТВ обумовлені тим, що на етапі зовнішнього проектування система (комплекс) ЗРО не має конкретного конструктивного втілення і повинна представлятися у вигляді альтернативних варіантів складу бойових і технічних засобів (підсистем), необхідних для виконання заданого обсягу бойових задач в прогнозованих умовах ведення бойових дій [5, 11].

Найважливіше місце серед методів математичного моделювання займають інтерактивні імітаційні системи моделювання, які забезпечують можливість дослідження сценаріїв великомасштабного застосування ЗПН і угруповань ЗРВ у вигляді ігрового імітаційного машинного

експерименту [12, 15]. Така система моделювання повинна бути комплексом математичних моделей (КММ), що описують функціонування системи (комплексу) ЗРО та її складових частин, а також вирішуваних на її основі розрахункових бойових задач, пов'язаних з єдиною базою даних [14, 18]. До складу КММ повинні входити моделі, що описують функціонування угруповання ЗРВ, а також моделі, що описують функціонування існуючих типів ЗРС і ЗРК, що входять до складу угруповання ЗРВ. При цьому повинна бути забезпечена подібність структури і алгоритмічного забезпечення цих моделей структури і алгоритмічному забезпеченню систем (комплексів) ЗРО відповідних типів. При цьому ТТХ і алгоритмічний опис перспективної системи (комплексу) ЗРО в моделі представляється на спрощеному логіко-подієвому рівні. Надалі опис системи (комплексу) ЗРО в моделі деталізується і ускладнюється у міру просування її розробки і відповідно до уточнення ТТХ.

Створення інтерактивної системи математичного моделювання для обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО передбачає формування сукупності аналітичних, імітаційних та статистичних моделей, що описують як технічні питання формування альтернативних варіантів елементів системи (комплексу) ЗРО, так і питання військово-економічної оцінки її створення і застосування [12–18].

Обґрунтування показників бойової ефективності системи (комплексу) ЗРО передбачає розробку типового сценарію функціонування цієї системи (комплексу) в очікуваних умовах бойового застосування для визначення кількісних характеристик вирішуваних бойових задач. Вирішення цієї задачі повинне здійснюватися в процесі математичного моделювання різних варіантів ведення бойових дій угрупованнями ППО при відбитті повітряних ударів противника із застосуванням перспективних ЗПН в можливій війні. При цьому обґрунтування ТТВ здійснюється в процесі моделювання протиповітряних бойових дій системи (комплексу) ЗРО у вигляді сукупності дуельних протиповітряних БД з ЗПН різного типу. У зв'язку з великою розмірністю задача обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного цільового призначення повинна вирішуватися методом декомпозиції на основі аналізу обсягу і змісту бойових задач, що покладаються на цю систему (комплекс) в прогнозованих умовах ведення бойових дій [12–21].

Інтерактивна математична модель бойового функціонування системи (комплексу) ЗРО повинна відображати структурно-функціональне представлення процесу застосування системи (комплексу) у складі системи озброєння угруповання ЗРВ, яка відображає виконання того або іншого розрахункового бойового завдання (РБЗ) з певної сукупності РБЗ розрахункового сценарію.

Схема процесу обґрунтування ТТВ до систем (комплексів) ЗРО з використанням комплексу математичних моделей приведена на рис. 1.

Складність задачі обґрунтування ТТВ обумовлена складною структурою систем (комплексів) ЗРО та великою номенклатурою характеристик і параметрів, до яких повинні пред'являтися вимоги. Тому при обґрунтуванні ТТВ кожна складова частина та система

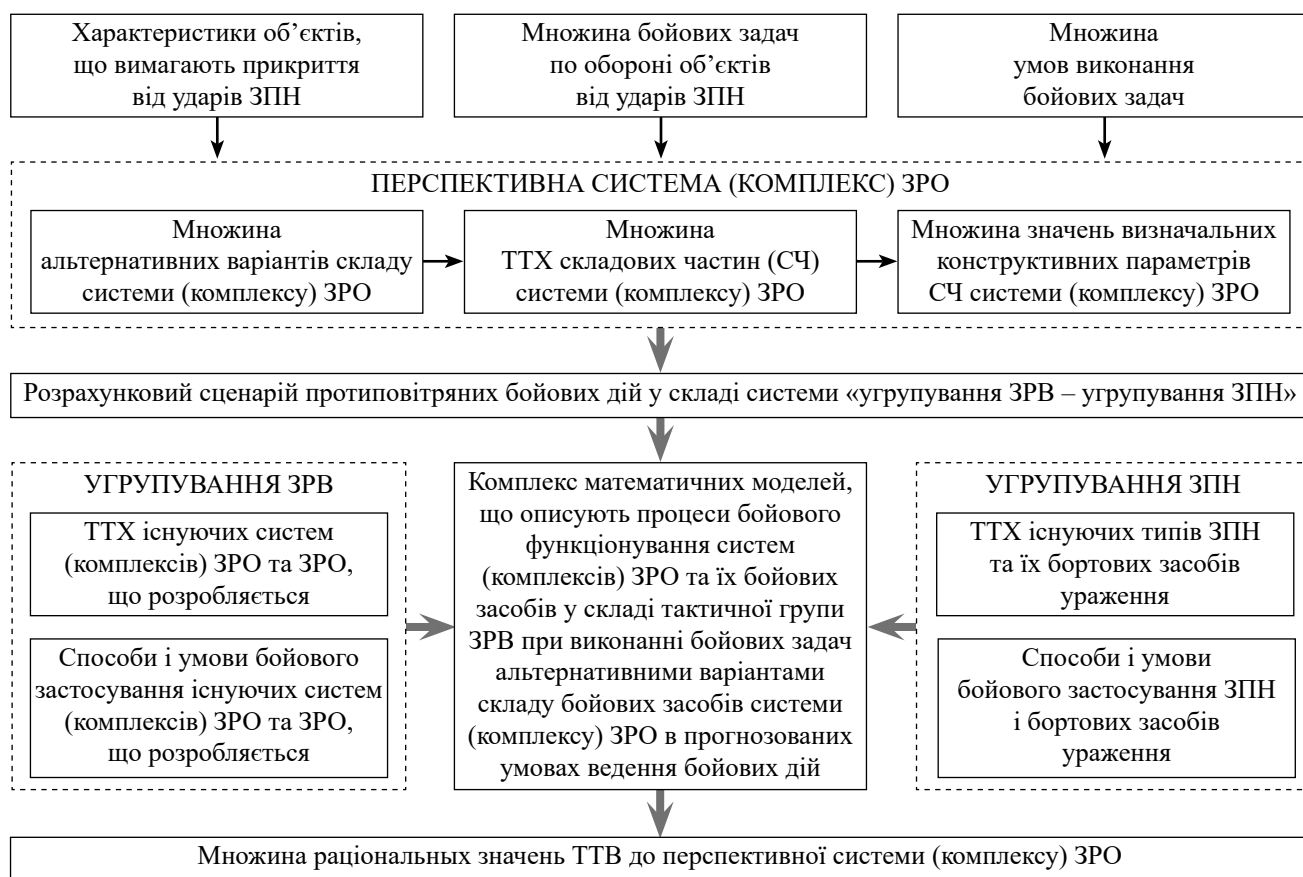


Рис. 1. Структурна схема процесу обґрунтування тактико-технічних вимог до систем (комплексів) ЗРО

(комплекс) ЗРО у цілому представляються деякою сукупністю (вектором) вимог $y_i, i \in [1, m]$, рівневі значення яких підлягають визначенню. Кожна вимога $y_i, i \in [1, m]$ визначається безліччю технічних характеристик, а кожна характеристика x_{ij} – безліччю (вектором) геометричних і конструктивних параметрів $\{\pi_{ijk}\}, k \in [1, r]$. Для обґрунтування раціональних значень ТТХ системи (комплексу) ЗРО вектор конструктивних параметрів $\{\pi_{ijk}\}$ підрозділяється на визначаючі параметри $\{\pi_{ijk}^0\}$, що змінюються в процесі оптимізації значень ТТВ складових частин системи (комплексу) ЗРО, і вторинні параметри $\{\pi_{ijk}^B\}$, які вважаються незмінними [11]. Переліки визначальних і вторинних параметрів для кожної складової частини (підсистеми) системи (комплексу) ЗРО складається на підставі досвіду і попереднього аналізу чутливості показників ефективності та витрат на створення системи (комплексу) ЗРО конкретного типу.

Конкретний перелік ТТХ, до яких повинні пред'являтися вимоги, обумовлюється обрисом і призначенням системи (комплексу) ЗРО, характером вирішуваних задач, необхідним рівнем ефективності їх виконання і умовами застосування системи (комплексу) за призначенням. У якості основних ТТХ складових частин на стадії обґрунтування ТТВ доцільно використовувати [11]:

- для розвідувально-інформаційних засобів – типи і кількість, дальності виявлення і захоплення цілей різних типів по заданих рівнях вірогідності, сектори огляду по азимуту і куту місця, період огляду, кількість одночасно супроводжуваних цілей, точність вимірювання їх координат і параметрів руху;

- для пункту бойового управління – їх типи і кількість керованих засобів; кількість одночасно оброблюваних цілей; цикл вирішення задач управління; точність і час цілевказання;

- для засобів супроводження цілей і наведення ракет – кількість одночасно супроводжуваних цілей, кількість цільових і ракетних каналів, робітний час;

- для пускової установки – кількість ПУ та ЗКР на ПУ, час заряджання (перезарядження) ПУ, вид старту та інтервал між пусками ракет;

- для ЗКР – зона ураження, середня швидкість польоту, ймовірність ураження певних типів цілей в характерних точках зони ураження.

Оскільки бойові засоби в процесі застосування системи (комплексу) ЗРО взаємодіють між собою, значення їх ТТХ повинні бути узгоджені. Ця умова означає необхідність узгодження дальності дії засобів виявлення і супроводження цілей, а також дальності дії апаратури наведення ЗКР з розмірами зони ураження системи (комплексу) ЗРО для конкретних типів ЗПН.

Тому, задача обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО полягає в знаходженні такого поєднання сумісних вимог, основних характеристик і конструктивних параметрів з діапазонів їх можливих змін, при якому критерій ефективності виконання бойових задач системою (комплексом) ЗРО прийняв би значення, не менш заданого.

Обґрунтування ТТВ до перспективної системи (комплексу) ЗРО конкретного типу здійснюється на основі оперативно-тактичних вимог (ОТВ), сформованих на етапі розробки задуму (концепції) її створення [9, 23].

Обґрунтування ТТВ до систем (комплексів) ЗРО здійснюється в рамках розрахункового сценарію, під яким розуміють впорядковану за цільовим призначенням і часу сукупність розрахункових бойових задач (РБЗ), які повинні бути виконані тактичною групою ЗРВ протягом заданого часу ведення бойових дій. При цьому оцінюється ефективність виконання системою (комплексом) ЗРО тієї або іншої РБЗ з їх певної сукупності згідно розрахункового сценарію. Розрахункова бойова задача характеризується:

- номенклатурою і чисельністю ЗПН як об'єктів дії системи (комплексу) ЗРО;
- умовами застосування і базування системи (комплексу) ЗРО;
- номенклатурою і чисельністю засобів протидії системі (комплексу) ЗРО з боку ЗП противника;
- особливостями бойового управління системою (комплексом) ЗРО і забезпечення її (його) застосування для заданого району ведення бойових дій.

Умови виконання РБЗ можуть розрізнятися по місцю, області бойових дій, часу, метеоумовам, бойовим порядкам, базуванню, обстановці (радіаційною, хімічною), бойовій напрузі, об'єктам дії, засобам протидії противника, тактичним прийомам дії, забезпеченню, бойовому управлінню, взаємодії.

Кожна РБЗ може бути представлена безліччю розрахункових типових задач, що характеризують, зокрема, типаж об'єктів дії та їх характеристики, а також способи виконання РБЗ. Під розрахунковою типовою задачею слід розуміти обстріл типової цілі на необхідному рубежі заданою кількістю ЗКР. При цьому кількість типових задач визначатиметься умовами застосування системи (комплексу) ЗРО за призначенням (при природних зовнішніх впливаючих чинниках, відсутності та наявності перешкод тощо) та сукупністю типових цілей, з якими повинна ця система (комплекс) боротися.

Розрахункові сценарії і РБЗ повинні розглядатися як одні з основних елементів початкових даних, від яких в істотному ступені залежать повнота і об'єктивність результатів оцінювання показників ефективності бойового застосування системи (комплексу) ЗРО конкретного типу методами імітаційного моделювання.

Порядок розробки системи моделей на основі розрахункових сценаріїв і РБЗ може бути представлений трьома етапами:

1) на першому етапі формуються типові тактичні схеми вирішення РБЗ;

2) на другому етапі на основі тактичних схем відпрацьовуються структурні схеми моделей функціонування системи (комплексу) ЗРО, в яких ув'язуються основні етапи її бойового циклу;

3) на третьому етапі розробляються просторово-часові схеми вирішення РБЗ.

Схема процесу моделювання бойових дій наведена на рис. 2.

Наявність великої кількості чинників, що роблять вплив на ефективність бойового функціонування системи (комплексу) ЗРО при виконанні бойових задач, обумовлює необхідність застосування для обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО сучасних інформаційних технологій, в основі яких лежать комп'ютерні моделі, що адекватно відображають процеси, які відбуваються в системі (комплексу) ЗРО та її складових частинах (бойових засобах) в різних режимах їх функціонування.

Комп'ютерний (віртуальний) експеримент за оцінкою ефективності стрільби системи (комплексу) ЗРО по цілі заданого типу повинен забезпечувати фіксацію в реальному часі та подальший аналіз процесів виявлення, впізнання і розпізнання цілі, захоплення її на супроводження, підготовку до пуску і пуск заданої кількості ракет, наведення ракет на ціль, підриг бойової частини ракет в точці зустрічі з ціллю.

В процесі моделювання (проведення модельних експериментів) можуть бути отримані окремі випадкові реалізації результатів функціонування системи (комплексу) ЗРО за заданих умов повітряної обстановки. Для отримання високоточних оцінок показників ефективності у вигляді параметрів законів розподілу необхідне накопичення статистики як при одних і тих же варіантах повітряної обстановки, так і при різних варіантах обстановки.

Комп'ютерні моделі повинні забезпечувати:

- імітацію повітряної та перешкодової обстановки, яка повинна розраховуватись на ЗПН і засоби РЕБ, що можуть з'явитися у противника в досяжній перспективі;
- проведення великої кількості модельних експериментів в умовах, максимально наближених до прогнозованих умов бойового застосування системи (комплексу) ЗРО;

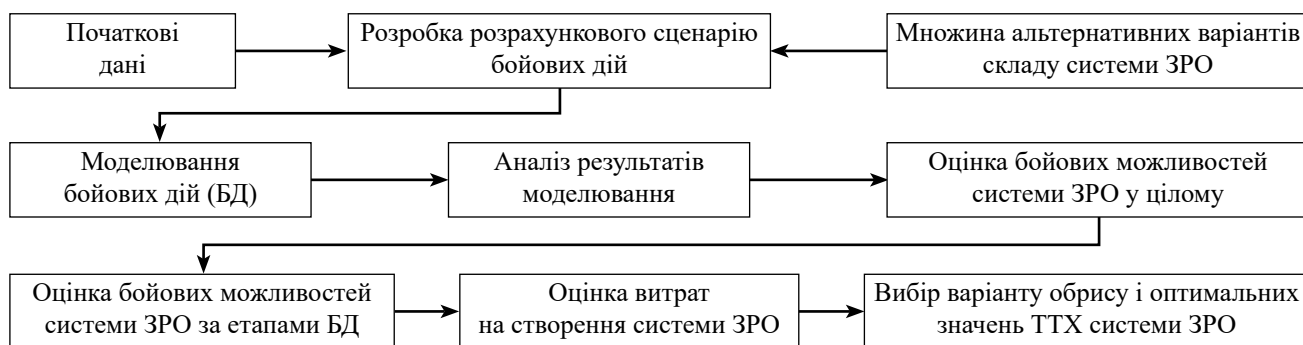


Рис. 2. Загальна схема процесу моделювання бойових дій при обґрунтуванні вимог до характеристик і параметрів системи (комплексу) ЗРО конкретного типу

– можливість генерації альтернативних варіантів складу бойових засобів для вирішення бойових задач, що покладаються на систему (комплекс) ЗРО;

– можливість генерації номенклатури основних ТТХ, а також переліку і значень визначальних параметрів складових частин для різних варіантів складу системи (комплексу) ЗРО;

– аналіз ефективності функціонування системи (комплексу) ЗРО та її складових частин (розвідувально-інформаційних засобів, ПБУ, вогневих засобів) для різних альтернативних варіантів складу і значень визначальних параметрів складових частин;

– аналіз ефективності стрільби ЗКР по цілях різних типів за відсутності та наявності перешкод та при використанні інтенсивних маневрів цілей [19];

– обґрунтування раціональних значень ТТХ системи (комплексу) ЗРО (зона виявлення, зона ураження, точність супроводження тощо).

У зв'язку зі складністю і великою розмірністю задача обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу вирішується методом декомпозиції на послідовність наступних взаємозв'язаних етапів її рішення, до яких відносяться [13–21]:

– аналіз бойових задач по прикриттю об'єктів і військ від ударів ЗПН і умов їх виконання системою (комплексом) ЗРО у складі угруповання ЗРВ;

– формування типових умов і способів бойового застосування перспективної системи (комплексу) ЗРО конкретного цільового призначення;

– аналіз ТТХ і способів бойового застосування ЗПН;

– формування структури і складу нальоту ЗПН;

– формування безлічі РБЗ по відбиттю ударів ЗПН конкретних типів і умов їх виконання перспективною системою (комплексом) ЗРО;

– генерація безлічі можливих альтернативних варіантів складу бойових і технічних засобів системи (комплексу) ЗРО з урахуванням досягнутого рівня нових технологій і технічних рішень;

– визначення переліку основних ТТХ складових частин для кожного альтернативного варіанту складу перспективної системи (комплексу) ЗРО;

– вибір номенклатури і генерація безлічі значень визначальних конструктивних параметрів основних ТТХ складових частин (підсистем) для кожного альтернативного варіанту складу системи (комплексу) ЗРО;

– розробка моделей, що описують процеси конфліктно-інформаційної взаємодії перспективної системи (комплексу) ЗРО і ЗПН для різних розрахункових сценаріїв ведення бойових дій;

– моделювання і оцінка ефективності виконання РБЗ альтернативними варіантами побудови системи (комплексу) ЗРО по відбиттю нальоту ЗПН в типових (прогнозованих) умовах бойового застосування для кожного варіанту значень основних параметрів складових частин системи (комплексу) ЗРО;

– оцінка за результатами моделювання раціональних значень основних ТТХ системи (комплексу) ЗРО та її бойових засобів за результатами відбиття нальоту ЗПН на заданих рубежах;

– оцінка вартості системи (комплексу) ЗРО для різних варіантів її побудови;

– формування раціональних значень ТТВ до системи (комплексу) ЗРО за критерієм «ефективність-вартість» з урахуванням безлічі умов функціонування.

Основним принципом створення і функціонування моделі інформаційно-конфліктної взаємодії системи (комплексу) ЗРО і ЗПН є принцип імітації та математичного моделювання основних інформаційних і динамічних процесів, що протікають на етапі бойових дій. При цьому повинні враховуватися наступні випадкові чинники:

– вплив рельєфу місцевості на дальність початку інформаційного контакту бортового комплексу ЗПН з ціллю (об'єктом удару);

– виявлення випромінювання системи (комплексу) ЗРО бортовою станцією радіотехнічної розвідки ЗПН і пуск протирадіолокаційних ракет;

– виявлення системи (комплексу) ЗРО і об'єктів, що обороняються, оптико-електронною оглядово-прицільною системою бортового комплексу ЗПН і пуск зброї класу «повітря – поверхня»;

– виявлення ЗПН інформаційними засобами системи (комплексу) ЗРО;

– захоплення цілі радіолокаційною головкою самонаведення ЗКР та ураження цілі ЗКР;

– ураження керованими ракетами класу «повітря – поверхня» бойових засобів системи (комплексу) ЗРО;

– ураження ЗПН наземних об'єктів та систем (комплексів) ЗРО.

При моделюванні операції відбиття нальоту ЗПН динаміка бойових дій сторін розглядається хронологічно від події до події, причому подією вважається факт зміни стану «система (комплекс) ЗРО – група ЗПН». Тому однією з задач при розробці моделі є синхронізація всіх модельованих об'єктів за часом, тобто правильне відображення порядку і часових відносин між змінами в процесі бойових дій на порядок виконання подій в моделі. При безперервному представленні часу вважається, що існує єдиний для всіх об'єктів годинник, який показує єдиний час. Передача інформації між об'єктами відбувається миттєво і таким чином, зв'язуючись з єдиним годинником, встановлюється часова послідовність всіх подій, що відбувалися. Якщо в моделі існують об'єкти з дискретним представленням часу, для формування єдиного годинника моделі необхідно об'єднати безліч часових відліків моделей об'єктів. Синхронізувати моделі об'єктів з подієвим часом можна тільки явно, шляхом передачі сигналу про настання події. Для цього необхідна управляюча програма-планувальник, яка і визначає необхідний хронологічний порядок виконання подій.

Для системи (комплексу) ЗРО основними подіями [11] є виявлення цілей РЛС кругового огляду (зі складу комплексу ЗРО), узяття цілі на обслуговування (операції виявлення та захоплення на супроводження, пуску, наведення і контролю результатів стрільби), підризу бойової частини ЗКР, звільнення каналу супроводження цілі.

Для ЗПН основними подіями [11] є пошук і виявлення наземних цілей з виконанням маневрів входу в зону можливих пусків і пуску бойових засобів або виходу із зони ураження системи ЗРО, підризу бойової частини зброї

класу «повітря – поверхня». Моделювання функціонування системи (комплексу) ЗРО і ЗПН за допомогою імітаційного методу дозволяє отримати статистичні характеристики всіх даних станів системи «система (комплекс) ЗРО – наліт ЗПН» в довільний момент часу. Основними показниками ефективності, які обчислюються за допомогою моделі, є ймовірність знищення цілі (або відносна кількість уражених цілей), ймовірність виживання системи (комплексу) ЗРО при відбитті нальоту ЗПН.

Як показники ефективності можливо розглядати математичні сподівання і середні квадратичні відхилення [11] розміру боєкомплекту системи (комплексу) ЗРО, що залишився невитраченим, кількості уражених протиракетолокаційних ракет або керованих ракет інших типів в нальоті, кількості невитрачених авіаційних керованих ракет, відносної кількості знищених ЗПН залежно від дальності їх ураження.

Задача обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО істотно ускладнюється з-за відсутності необхідної достовірної інформації про розробки і тенденції сучасного ЗРО у передових країнах.

Початковими даними для обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу є:

1) можливі варіанти сценаріїв ведення бойових дій у групуваннями ППО в збройних конфліктах і війнах різного масштабу;

2) типи, ТТХ, варіанти побудови і напрямку ударів, профілі та траєкторії польоту ЗПН, наряди ударних сил на об'єкти, що прикриваються, і засоби системи оборони, очікувані рівні протидії для різних варіантів сценаріїв ведення бойових дій;

3) дислокація, розміри, ступінь важливості об'єктів прикриття від ударів ЗПН;

4) вимоги до ефективності прикриття об'єктів від ударів ЗПН;

5) типаж і ТТХ існуючого ЗРО та ЗРО, що розробляється, і можливі способи його бойового застосування в різних варіантах сценаріїв ведення бойових дій;

6) характер рельєфу та профілі місцевості в районах об'єктів прикриття, позицій засобів системи оборони і на напрямках ймовірних ударів ЗПН;

7) вартісні характеристики існуючого ЗРО та ЗРО, що розробляється, включаючи вартісні характеристики експлуатації парку ЗРО і застосування його за призначенням в ході ведення бойових дій.

Обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу на основі приведених положень може бути реалізоване у вигляді деякого алгоритму, відповідно до якого рішення цієї задачі повинне здійснюватися в наступній послідовності:

1) підготовка і формування початкових даних, розробка можливих сценаріїв ведення бойових дій у групуванням ЗРВ на визначеному оперативному напрямі;

2) визначення для кожного сценарію ведення бойових дій переліку об'єктів, які підлягають прикриттю від ударів ЗПН, складу сил і засобів ЗПН, які можуть бути задіяні для ударів по обраних об'єктах, варіантів нальотів ЗПН для нанесення повітряних ударів по об'єктах (кількість і склад ударів, напрями і профілі польотів ЗПН, склад і задача груп ЗПН в кожному ударі);

3) визначення генеральної мети функціонування перспективної системи (комплексу) ЗРО і критеріїв ефективності виконання бойових задач для кожного можливого сценарію ведення бойових дій;

4) визначення методами моделювання для кожного можливого сценарію значень ТТХ бойових засобів, необхідних для виконання бойових задач, оптимального складу системи (комплексу) ЗРО, який забезпечує виконання усього обсягу бойових задач з необхідною ефективністю.

Інформаційне забезпечення технології обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО з використанням методів математичного моделювання та інформаційних технологій повинно передбачати виконання наступних робіт:

1) складання опису конфліктно-інформаційної взаємодії системи (комплексу) ЗРО в ході ведення бойових дій зі ЗПН противника, включаючи об'єкти імітації і зовнішнього середовища, основні обмеження і перелік кількісних показників ефективності системи (комплексу) ЗРО, які повинні оцінюватися при моделюванні;

2) розробка загальної математичної моделі протиповітряної операції як впорядкованого і логічно організованого набору математичних описів окремих підпроцесів і алгоритмів функціонування системи (комплексу) ЗРО (та її складових частин) і ЗПН противника;

3) складання логічного опису модельованих процесів у формі загального модельовуючого алгоритму;

4) програмування і відладка моделі на основі універсальної мови високого рівня, перевірка адекватності моделі;

5) організація і реалізація плану експерименту, реєстрація і накопичення результатів, що отримуються в процесі моделювання;

6) аналіз і інтерпретація результатів модельного експерименту у формі висновків і висновків.

ВИСНОВКИ

У сучасних умовах посилюється роль системного підходу до розробки комплексів (систем) ЗРО. При цьому комплекс (система) ЗРО розглядається як елемент бойової системи, що поєднує в єдине ціле усіх учасників бойових дій. Суть завдання обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу полягає в тому, щоб рівень її бойових і експлуатаційних властивостей привести у відповідність необхідному рівню вирішення бойових задач. Для відбору раціонального варіанту ТТВ до системи (комплексу) ЗРО доцільно використовувати представницьку множину характеристик і параметрів, яка однозначно визначає ефективність застосування цієї системи (комплексу) при різних варіантах її технічного обриса. При цьому оцінка ефективності системи (комплексу) ЗРО буде носити ітераційний характер, що вимагає взаємодію моделей і методик різних рівнів. Ітераційний процес передбачає постійний обмін інформацією між методиками суміжних рівнів, внаслідок чого відбувається уточнення початкових даних і вихідних параметрів системи (комплексу) ЗРО.

Запропоновані методологічні положення щодо обґрунтування ТТВ до системи (комплексу) ЗРО конкретного типу з використанням комплексу взаємозв'язаних аналі-

тичних, імітаційних та статистичних моделей дозволяє на етапі зовнішнього проектування визначати номенклатуру і раціональні значення характеристик системи (комплексу) ЗРО, склад її бойових засобів (підсистем), основні режими функціонування, параметри і характеристики бойових засобів (підсистем), а також потрібний склад алгоритмів функціонування, необхідних для ефективного рішення поставлених бойових задач в очікуваних (розрахункових) умовах бойового застосування у складі угруповання ЗРВ.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Демидов Б.А., Луханин М.И., Величко А.Ф., Наumenко М.В. Системная методология планирования развития предпроектных исследований и внешнего проектирования вооружения и военной техники : монография; под ред. Б.А. Демидова. Киев: ИД «Стилос». 2011. 464 с.
2. Буренок В.М., Ляпунов В.М., Мудров В.И. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения; под ред. А.М. Московского. М.: Граница. 2005. 520 с.
3. Зірка А.Л., Козлов В.Г. Оцінка бойових можливостей літаків тактичної авіації російської федерації у війні з Україною. Озброєння та військова техніка. 2022. № 1(33). С. 110–120. <https://doi.org/10.34169/2414-0651>.
4. Животовський Р.М., Шинкарук О.М., Яковлев М.Ю., Варсегов А.С. Аналіз крилатих ракет повітряного базування рф у війні проти України 2022 року. Озброєння та військова техніка. 2022. № 1(33). С. 83–92. <https://doi.org/10.34169/2414-0651>.
5. Лукьянчук В.В., Николаев И.М. Методологический подход к обоснованию облика зенитной ракетной системы на основе современного технологического базиса. Коллективная научная монография «Сучасний стан проведення наукових досліджень у IT-технологіях, галузях електроніки, інженерії, нанотехнологіях та транспортній сфері». Вид. 2. 2021. <https://doi.org/10.36074/csriteenat.ed-2.06>.
6. Ланецкий Б.Н., Лукьянчук В.В., Кириллов И.Г., Николаев И.М. Порядок обоснования оперативно-тактических требований к системе зенитного ракетного вооружения и ее структурным компонентам. Системы озброєння і військова техніка. 2014. № 1(37). С. 51–55. <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2315>.
7. Буренок В.М., Погребняк Р.Н., Скотников А.П. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения. М.: Машиностроение. 2010. 368 с.
8. Буренок В.М., Ивлев А.А., Корчак В.Ю. Развитие военных технологий XXI века: проблемы, планирование, реализация. Тверь: ООО «КУПОЛ». 2009. 624 с.
9. Архангельский И.И., Афанасьев П.П., Болотов Е.Г. Проектирование зенитных управляемых ракет; под ред. И. С. Голубева и В. Г. Светлова. М.: МАИ. 2001. 732 с.
10. Ненартович Н.Э. Современные зенитные ракетные системы ПВО и нестратегической ПРО. Информационно-аналитическое издание «Воздушно-космическая оборона». 2010.
11. Вишнякова Л.В., Карп К.А., Малышев В.В. Формирование облика зенитного ракетного комплекса. М.: МАИ. 2003. 83 с. https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_bibl_561854.
12. Горчица Г.И., Ищук В.М., Пишко В.Н. Содержание и направления развития систем имитационного моделирования боевых действий войсковых формирований в полномасштабных технологиях виртуальной реальности. Изв. российской акад. ракетных и артиллерийских наук. 2019. № 1 (106). С. 60–69. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37098802>.
13. Чуркин И.П., Костров С.А., Бегларян С.Г. Имитационное моделирование вооруженного противоборства в воздушно-космической сфере. Военная Мысль. 2018. № 9. С. 41–47.
14. Васильев В.А., Федюнин П.А., Воробьев В.А., Васильев А.В. Методологические аспекты моделирования в сфере вооруженного противоборства. Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2018. № 7. С. 55–63. <https://docplayer.com/122622291-Metodologicheskie-aspekty-modelirovaniya-v-sfere-vooruzhennogo-protivoborstva.html>.
15. Бойко А.А., Иванников К.С., Стрельников С.И. Расчетно-моделирующий комплекс для оценки эффективности боевых действий. Военная Мысль. 2020. № 12. С. 57–64.
16. Вишнякова Л.В., Дегтярев О.В., Слатин А.В. Имитационное операционное моделирование процессов функционирования сложных авиационных систем и комплексов управления. М.: Тр. конф. ИММОД-2011. 2011. Т. 1. С. 30–41. <http://immod.gpss.ru/files/2011/3.pdf>.
17. Созинов П.А. Актуальные задачи математического моделирования систем воздушно-космической обороны. Вестн. Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2017. № 3. С. 17–26.
18. Богданов О.А., Смирнов А.А., Ковалев Д.В. Имитационное моделирование противоборства в воздушно-космической сфере. Software & Systems. 2016. № 1(113). 2016. С. 160–164.
19. Каменев А.В., Черемшанцев А.А., Макаров В.А. Моделирование процесса стрельбы огневой единицы. Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем. Ульянов: Ульяновский госуд. техн. ун-т. 2016. № 10. С. 96–104. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27279363>.
20. Оркин Б.Д., Оркин С.Д. Имитационное моделирование боевого функционирования палубных истребителей, зенитных ракетных и артиллерийских комплексов корабельных групп при решении задач ПВО. МАИ-Принт. 2009. 699 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://books.google.com.ua/books/about/Имитационное_моделир.html?id=qkx_kgAACAIA&redir_esc=y.
21. Ильин В.А. Моделирование боевых действий в оперативно-тактических и тактических тренажерах. Программные продукты и системы. 2013. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-boevyh-deystviy-v-operativno-takticheskikh-i-takticheskikh-trenazherah>.
22. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA): 1516–2010 (Framework and Rules); 1516.1–2010 (Federate Interface Specification);

1516.2–2010 (Object Model Template Specification). Available at: <https://standards.ieee.org/standard/1516-2010.html>.

23. Наказ Головнокомандувача Збройних Сил України «Про затвердження Інструкції з формування оперативного-стратегічних, оперативного-тактичних та загальних вимог до перспективних (нових, модернізованих) систем (комплексів, зразків) озброєння та військової техніки Збройних Сил України» від 28 серпня 2020 року № 127.

REFERENCES

- Demidov, B.A., Lukhanyan, M.I., Velychko, A.F. & Naumenko, M.V. (2011) "Sistemnaia metodologiya planirovaniia razvitiia predproiektnykh issledovaniia i vneshnego proektirovaniia vooruzheniia i voennoi tekhniki" [System methodology for planning the development of pre-project research and external design of weapons and military equipment], Publ. house «Stylos». K. 464 p.
- Burenok, V.M., Lyapunov, V.M. & Mudrov, V.I. (2005), "Teoriia i praktika planirovaniia i upravleniia razvitiem vooruzheniia" [Theory and practice of planning and managing the development of weapons], Granitsa. M. 520 p.
- Zirka, A.A. & Kozlov, V.H. (2022) "Otsinka boiovykh mozhlyvostei litakiv taktichnoi aviatsii rossiiskoi federatsii v viini z Ukrainoiu" [Assessment of the combat capabilities of tactical aircraft of the Russian Federation in the war with Ukraine], Weapons and military equipment. No. 1(33). Pp. 110–120. <https://doi.org/1034169/2414-0651>.
- Zhivotovsky, R.M., Shinkaruk, O.M., Yakovlev, M.Yu. & Varsegov, A.S. (2022) "Analiz krylatykh raket povitriannogo bazuvannia rf u viini proty Ukrainy 2022 roku" [Analysis of air-based cruise missiles of the Russia in the war against Ukraine in 2022], Weapons and military equipment, No. 1(33). Pp. 83–92. <https://doi.org/1034169/2414-0651>.
- Lukianchuk, V.V. & Nikolaiev, I. M. (2021). "Metodologicheskii podkhod k obosnovaniiu oblika zenitnoi raketnoi sistemy na osnove sovremennogo tekhnologicheskogo bazisa" [A methodological approach to substantiating the appearance of an anti-aircraft missile system based on a modern technological basis], Kolektyvna naukova monohrafiia «Suchasnyi stan provedennia naukovykh doslidzhen u IT-teknolohiiakh, haluzyakh elektroniky, inzhenerii, nanotekhnolohiiakh ta transportni sferi». Vyd. 2. <https://doi.org/10.36074/csrteat.ed-2.06>.
- Lanetsky, B.N., Lukianchuk, V.V., Kirillov, I.G. & Nikolaev, I.M. (2014). "Poriadok obosnovaniia operativno-takticheskikh trebovaniy k sisteme zenitnogo raketnogo vooruzheniia i yeye strukturnym komponentam" [The procedure for substantiating operational and tactical requirements for the anti-aircraft missile weapon system and its structural components], Systems of design and military technology. No. 1 (37). Pp. 51–55. Available at: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2315>.
- Burenok, V.M., Pogrebnyak, R.N. & Skotnikov, A.P. (2010) "Metodologiya obosnovaniia perspektiv razvitiia sredstv vooruzhennoi borby obshchego naznacheniia" [Methodology of substantiation of the prospects for the development of general-purpose means of armed struggle], Mashinostroenie. M. 368 p.
- Burenok, V.M., Ivlev, A.A. & Korchak, V.Yu. (2009), "Razvitiie voennykh tekhnologii XXI veka: problemy, planirovaniie, realizatsiia" [Development of military technologies of the XXI century: problems, planning, implementation], Publ. house LLC «KUPOL». Tver. 624 p.
- Arhangelsky, I.I., Afanasiev, P.P. & Bolotov, E.G.: ed. Golubev, I.S. & Svetlov, V.G. (2001). "Proektirovaniie zenitnykh upravliaemykh raket" [Design of anti-aircraft guided missiles raket], Publ. House MAI. M. 732 p.
- Nenartovich, N.E. (2010). "Sovremennyye zenitnyie raketnyie sistemy PVO i nestrategicheskoy PRO" [Modern anti-aircraft missile systems for air defense and non-strategic missile defense], Information and analytical publication «Aerospace Defense».
- Vishnyakova, L.V., Karp, K.A. & Malyshev, V.V. (2003). "Formirovaniie oblika zenitnogo raketnogo kompleksa" [Shaping the appearance of an anti-aircraft missile system], MAI. M. 83 p. Available at: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_-RU_NLR_bibl_561854.
- Gorchitsa, G.I., Ishchuk, V.M. & Pishko, V.N. (2019). "Soderzhaniiie i napravleniia razvitiia sistem imitatsionnogo modelirovaniia boiovykh deistvii voiskovykh formirovani v polnomasshtabnykh tekhnologiiakh virtualnoi realnosti" [Content and directions of development of systems for simulation of combat operations of military formations in full-scale virtual reality technologies], Izv. rossiiskoi akad. raketnykh i artilleriiskikh nauk. № 1(106). Pp. 60–69. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37098802>.
- Churkin, I.P., Kostrov, S.A. & Beglaryan, S.G. (2018). "Imitatsionnoie modelirovaniie vooruzhennogo protivoborstva v vozdušno-kosmicheskoi sfere" [Simulation of armed confrontation in the aerospace sphere], Military Thought. No. 9. Pp. 41–47.
- Vasilyev, V.A., Fedyunin, P.A., Vorobyev, V.A. & Vasilyev, A. V. (2018), "Metodologicheskie aspekty modelirovaniia v sfere vooruzhennogo protivoborstva" [Methodological aspects of modeling in the field of armed confrontation], Vozdušno-kosmicheskiye sily. Teoriia i praktika. No. 7. Pp. 55–63. Available at: <https://docplayer.com/122622291-Metodologicheskie-aspekty-modelirovaniya-v-sfere-vooruzhennogo-protivoborstva.html>.
- Boyko, A.A., Ivannikov, K.S. & Strelnikov, S.I. (2020). "Raschetno-modeliruiushchii kompleks dlia otsenki effektivnosti boiovykh deistvii" [Computational and modeling complex for evaluating the effectiveness of combat operations], Military Thought. No. 12. Pp. 57–64.
- Vishniakova, L.V., Degtyarev, O.V. & Slatin, A.V. (2011). "Imitatsionnoie operatsionnoie modelirovaniie protsessov funktsionirovaniia slozhnykh aviatsionnykh sistem i kompleksov upravleniia" [Simulation operational modeling of the processes of functioning of complex aviation systems and control complexes], Tr. Konf. IMMOD-2011. M. Vol. 1. Pp. 30–41. Available at: <http://immod.gpss.ru/files/2011/3.pdf>.
- Sozinov, P.A. (2017). "Aktualnyie zadachi matematicheskogo modelirovaniia sistem vozdušno-kosmicheskoi oborony" [Actual problems of mathematical modeling of aerospace defense systems], Vestn. Kontserna VKO «Almaz-Antey». No. 3. Pp. 17–26.

18. Bogdanov, O.A., Smirnov, A.A. & Kovalev, D.V. (2016). "Imitatsionnoie modelirovaniie protivoborstva v vozdušno-kosmicheskoi sfere" [Simulation of confrontation in the aerospace sphere], Software & Systems. No. 1 (113). Pp. 160–164.
19. Kamenev, A.V., Cheremshantsev, A.A. & Makarov, V.A. (2016). "Modelirovaniie protsessa strelby ognevoi yedinitiy" [Modeling the firing process of a firing unit], Sovremennyye problemy proektirovaniia, proizvodstva i ekspluatatsii radiotekhnicheskikh sistem, Ulianov: Ulianovskii gos. tekhn. un-t. No. 10. Pp. 96–104. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27279363>.
20. Orkin, B.D. & Orkin, S.D. (2009). "Imitatsionnoie modelirovaniie boievogo funktsionirovaniia palubnykh istrebitel'ei, zenitnykh raketnykh i artil'eriyskikh kompleksov korabelnykh grupp pri reshenii zadach PVO" [Simulation of the combat functioning of carrier-based fighters, anti-aircraft missile and artillery systems of ship groups in solving air defense problems], MAI-Print, 699 p. Available at: https://books.google.com.ua/books/about/Imitatsionnoye_modelir.html?id=qkx_kgAACAAJ&redir_esc=y.
21. Ilin, V.A. (2013). "Modelirovaniie boievykh deistvii v operativno-takticheskikh i takticheskikh trenazherakh" [Modeling of combat actions in operational-tactical and tactical simulators], Programmnyie produkty i sistemy. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-boievykh-deystviy-v-operativno-takticheskikh-i-takticheskikh-trenazherah>.
22. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA): 1516–2010 (Framework and Rules); 1516.1–2010 (Federate Interface Specification); 1516.2–2010 (Object Model Template Specification). Available at: <https://standards.ieee.org/standard/1516-2010.html>.
23. The Order of the Ministry of Defense of Ukraine (2020), "Pro zatverdzhennia instruksii z formuvannia operativno-stratehichnykh, operativno-taktychnykh ta zahalnykh vymoh do perspektyvnykh (novykh, modernizovanykh) system (kompleksiv, zrazkiv) ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki Zbroynykh Syl Ukrainy. No. 127 vid 28.08.2020" [On the approval of the Instructions for the formation of operational-strategic, operational-tactical and general requirements for promising (new, modernized) systems (complexes, samples) of weapons and military equipment of the Armed Forces of Ukraine No. 127 dated 28.08.2020].

**Zubarev V., Lanetskii B., Lukianchuk V.,
Nikolaev I., Zvieriev O.**

METHODOLOGICAL ASPECTS OF CREATION AND USE SIMULATION MATHEMATICAL MODELS FOR JUSTIFICATION TACTICAL AND TECHNICAL REQUIREMENTS FOR SYSTEMS (COMPLEXES) ANTI-AIRCRAFT MISSILE WEAPONS

The scientific and methodological aspects of solving the problem of substantiating the tactical and technical requirements for anti-aircraft missile systems (complexes) at the stage of external design using interactive simulation

modeling systems that describe the processes of conflict and informational interaction of the anti-aircraft missile system (complex) with air attack means are formulated.

It is substantiated that these modeling systems should be a set of interconnected analytical, simulation and statistical models that describe the processes of functioning of anti-aircraft missile systems (complexes) as part of a tactical group of anti-aircraft missile forces when performing combat tasks with alternative variants of their combat equipment.

It is shown that the essence of the task of substantiating tactical and technical requirements is to determine the set of rational values of indicators and characteristics that the system (complex) of anti-aircraft missile weapons must possess in order to perform combat tasks in the predicted conditions of conducting hostilities.

The requirements for simulation modeling models, a list of the main events that must be recorded in the process of anti-aircraft combat simulation, a list of measures regarding the information support of combat simulation processes, a list of initial data and the order of their preparation, as well as the sequence of application of models to obtain estimates of anti-aircraft combat effectiveness indicators are action systems (complexes) of anti-aircraft missile weapons.

Keywords: tactical and technical requirements, justification, anti-aircraft missile system, performance characteristics, interactive simulation system.

Відомості про авторів:

Зубарєв Валерій Володимирович

доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник групи ГНС з наукового керівництва досліджень Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової збройних сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4998-726X>
e-mail: doctorzubarev.2016@gmail.com

Ланецький Борис Миколайович

доктор технічних наук, професор
провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу проблем відновлення ресурсу та ремонту озброєння та військової техніки Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5889-0307>
e-mail: Laneckij.B.hnups@gmail.com

Зверєв Олексій Олексійович

кандидат технічних наук, доцент
провідний науковий співробітник 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/0000-0003-2274-3115>
e-mail: gans7995@gmail.com

Лук'янчук Вадим Володимирович

доктор технічних наук, професор
начальник науково-дослідного відділу наукового центру
Повітряних Сил Харківського національного універси-
тету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5695-7723>
e-mail: super.vadim1973@ukr.net

Ніколаєв Іван Михайлович

кандидат технічних наук, старший науковий співробіт-
ник, старший науковий співробітник наукового центру
Повітряних Сил Харківського національного універси-
тету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
orcid.org/0000-0002-1250-9918
e-mail: imnikolayev@gmail.com

Information about the authors:**Zubarev Valeriy**

Doctor of Technical Sciences, Professor
Principal Researcher of the group of Principal Researchers
of Central Scientific Research Institute of Armament and
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4998-726X>
e-mail: doctorzubarev.2016@gmail.com

Lanetskii Boris

Doctor of Technical Sciences, Professor
Lead Researcher of the Research Department of Resource
Recovery and Repair of Weapons and Military Equipment

of Central Scientific Research Institute of Armament and
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5889-0307>
e-mail: Laneckij.B.hnups@gmail.com

Oleksii Zvieriev

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Lead Researcher of Scientific Research Department of
Development of Development of Radio Equipment of
Scientific Research Management of Central Scientific
Research Institute of Armament and Military Equipment of
Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2274-3115>
e-mail: gans7995@gmail.com

Lukianchuk Vadim

Doctor of Technical Sciences, Professor
Head of Research Department of the Air Force Research
Center of Ivan Kozhedub Kharkiv National University of
the Air Force
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5695-7723>
e-mail: super.vadim1973@ukr.net

Nikolaev Ivan

Candidate of Technical Sciences, Senior Research
Leading Research Worker of Scientific Center of Aircrafts
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
orcid.org/0000-0002-1250-9918
e-mail: imnikolayev@gmail.com

УДК 621.39

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4\(36\).20-28](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).20-28)

О. О. ЗВЕРЕВ, кандидат технічних наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0003-2274-3115>

Ю. Я. МЕЛЕНКО, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0002-1805-204X>

С. М. ПЕТРУК, кандидат технічних наук,
старший дослідник
<https://orcid.org/0000-0002-9644-1550>

Д. В. РАМШОВ, кандидат технічних наук
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

СТВОРЕННЯ ВІТЧИЗНЯНОГО МОБІЛЬНОГО ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСУ МАЛОЇ ДАЛЬНОСТІ НА БАЗІ АВІАЦІЙНИХ РАКЕТ ДЛЯ БОРОТЬБИ З КРИЛАТИМИ РАКЕТАМИ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

В статті розглянуті питання аналізу досвіду світових розробників мобільних зенітних ракетних комплексів, а також можливостей підприємств оборонно-промислового комплексу України щодо створення вітчизняного мобільного зенітного ракетного комплексу в інтересах протиповітряної оборони для боротьби з крилатими ракетами. Розглянуті тактико-технічні характеристики крилатих ракет типу «Калібр» збройних сил російської федерації та визначений загальний підхід до створення вітчизняного зразка, спроможного здійснювати виявлення і ураження ворожих ракет вказаного типу.

Ключові слова: воєнний стан, ракетні удари, ракети ЗМ14 і ЗМ54, мобільний зенітний ракетний комплекс.

ВСТУП

Починаючи з 24 лютого 2022 року російська федерація почала збройну агресію проти України із масованим застосуванням всього арсеналу наявних ракет. Серед основних засобів ураження – дозвукові крилаті ракети типу «Калібр» різного базування: морського, наземного та повітряного. Частина ракет долають протиповітряну оборону нашої держави і уражають намічені цілі, чим спричиняють значні жертви серед мирного населення, руйнування цивільної та військової інфраструктури України.

Противник наносив ракетні удари по аеродромах країни, військових та цивільних об'єктах, метою яких було позбавлення можливості дій бойової авіації ЗС України шляхом знищення літаків у місцях базування, руйнування злітних полос, знищення інфраструктури летовищ. Противник шляхом нанесення ракетних ударів, у тому числі з морських носіїв, мав за мету максимально знекровити економіку та нанести поразку Збройним Силам України. Спостерігались методичні удари по нафтобазах, нафтопереробних заводах, аеродромах. Ракетні удари наносились та продовжують наноситись по транспортним комунікаціям: залізничним і автомобільним шляхам, залізничним вузлам. Здійснюються спроби відрізання формування ЗС від шляхів постачання.

Станом на кінець березня 2022 року кількість запущених по території України ракет з територій рф, республіки білорусь та з акваторії Чорного моря обчислюється у сотнях одиниць. Ті з них, які подолали нашу протиракетну оборону, завдали значних людських жертв, руйнувань майна різних форм власності і збитків українському народу відповідно. Одними з перших військових завдань ворога було подавлення як стаціонарної, так і маневреної компонент протиповітряної і протиракетної оборони Збройних Сил України для завоювання переваги у повітряному просторі України.

За таких умов необхідно у вкрай стислий термін створити дієву протидію ракетним засобам повітряного нападу ворога, насамперед крилатим ракетами. На базі існуючої ракетної школи наша держава повинна у вкрай стислий термін підвищити власні спроможності щодо виявлення та знищення крилатих ракет у зоні своєї відповідальності. Особлива актуальність цього питання виникла в умовах запровадженого воєнного стану.

Тому питання належного захисту від ракетної загрози з суходолу та морського напрямку за рахунок створення сучасного мобільного зенітного ракетного комплексу (МЗРК) малої дальності на базі авіаційних ракет є актуальним.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз світового досвіду показує, що для боротьби з крилатими ракетами провідними країнами розроблені ЗРК малої дальності на базі існуючих ракет класу «повітря – повітря». Так німецько-французька компанія Diehl Defence виробляє зенітні ракетні комплекси (ЗРК) IRIS-T SLS/SLM [1]. Перші тести були проведені у ЮОП на полігоні Overberg test range. Починаючи з 2011 року пропонуються на експорт. В 2022 році очікується поставка ЗРК IRIS-T SLM для Повітряних Сил Збройних Сил України.

Норвезька компанія Norwegian Kongsberg і американська компанія Raytheon розробили ЗПК NASAMS (Norwegian/National Advanced Surface-to-Air Missile System) [2]. Цей ЗПК створений спеціально для ураження низьколетячих крилатих ракет. В якості засобу ураження ЗПК застосовує ракети, розроблені на базі авіаційних: ближньої дії: AIM-9X (Дур=10 км); малої дальності AMRAAM (AIM-120A, Дур=25 км) і AMRAAM ER (Дур=40 км). Усі ракети розробки і виробництва американської компанії «Raytheon». Урядом США анонсовано поставку декількох таких ЗПК Повітряним Силам Збройних Сил України до кінця 2022 року.

Також американська компанія «Raytheon» виробляє ЗПК SL-AMRAAM (Surface-Launched AMRAAM) з зенітними керованими ракетами (ЗКР) на базі авіаційних ракет AIM-120 AMRAAM та AIM-9X. Максимальна дальність стрільби ЗПК складає 33 км. Даний ЗПК стоїть на озброєнні у Іспанії, Норвегії, Омані, Фінляндії та США.

Ізраїль розробив ЗПК SPYDER з ЗКР на базі авіаційних ракет «Python» та «Derby» [3]. Досвід бойового застосування показує високу ефективність таких комплексів, особливо в умовах активної протидії. Так в 2008 році під час грузино-російської війни комплексом SPYDER було знищено Ту-22МР та Су-25 рф. Цей комплекс стоїть на озброєнні в 4-х країнах світу та запланований до подальших поставок.

Під час повітряної кампанії НАТО проти Югославії у 1999 році югославськими Воєнно-технічним інститутом VTI (Vojno-Tehnicki Institut) та Повітряно-дослідним центром VTO (Vazduhoplovno-Opitni Centar) були розроблені двоступеневі зенітні ракети RL-2 і RL-4 на базі радянських ракет «повітря – повітря» з інфрачервоним наведенням Р-60МК та Р-73 шляхом додавання до ракет прискорювачів власної розробки.

В табл. 1 наведені основні тактико-технічні характеристики (ТТХ) сучасних ЗПК на базі ракет класу «повітря – повітря», які розроблені США, країнами Європи та російською федерацією.

Як видно із табл. 1, в ЗПК, які розроблені на базі ракет класу «повітря – повітря», застосовуються такі типи головок самонаведення (ГСН): інфрачервоні ГСН та радіолокаційні ГСН (напівактивні або активні). Максимальна дальність ураження такими ЗПК складає до 50 км. Відповідно до класифікації зенітних ракетних комплексів за дальністю стрільби наведені ЗПК є комплексами малої дальності (дальня межа зони ураження складає від 12 до 40 км).

Виходячи з аналізу світового досвіду щодо розробки таких ЗПК, можна зробити висновок, що для розробки будь-яких ЗПК, в тому числі мобільних ЗПК на базі авіаційних ракет класу «повітря – повітря», необхідно мати три основні складові [4]:

Таблиця 1. ТТХ сучасних ЗПК на базі ракет класу «повітря – повітря»

Найменування ЗПК	Компанія-розробник	Зенітна керована ракета	Тип головки самонаведення	Дальність ураження ЗПК, км	Дальність ураження авіаційного комплексу, км
Chaparral	Lockheed Martin (США)	Sidewinder-1C (AIM-9D) – MIM-72A	ІЧ АН/DAW-2	Від 0,5 до 9,0 (MIM-72G)	До 18 (AIM-9D)
Sea Sparrow	Raytheon (США)	AIM-7F Sparrow	Н/АРЛ ГСН	До 19	50
		ESSM	Н/АРЛ ГСН	До 50	Аналогу немає
SPYDER	Rafael, IAI (Ізраїль)	Python 5	ІЧ	Від 1 до 15 (SPYDER-SR)	До 15
		Derby	АРЛ ГСН	Від 1 до 35 (до 50) (SPYDER-MR)	До 63
VL Mica	MBDA (Європа)	IR Mica	ИК ГСН	До 10	От 0,5 до 60
		RF Mica	АРЛ ГСН		
SLAMRAAM,	Raytheon (США),	AIM-120 AMRAAM	АРЛ ГСН	Від 2,5 до 25	До 48
NASAMS	Kongsberg (Норвегія) – Raytheon (США)	AIM-9X Sidewinder	ІЧ ГСН	До 10	До 18,2
		AMRAAM ER	АРЛ ГСН	До 40	Аналогу немає
IRIS-T SL	Diehl BGT Defence (Німеччина)	IRIS-T	ІЧ ГСН	До 20 км	25
Pracka – RL-2	VTI & VTO (Югославія)	P-60МК	ІЧ	н/д	До 8
Pracka – RL-4		P-73	ІЧ	н/д	До 20
ЗПК на базі PBB-AE	«Тактичне ракетне озброєння» (росія)	PBB-AE	АРЛ	Від 1,2 до 12	Від 0,3 до 80

- науково-технічний потенціал і наявність відповідно науково-технічного заділу;
- виробничі потужності;
- фінансові ресурси.

За наявності належного фінансування визначальними є перша та друга складові.

Стосовно першої складової слід зазначити, що Україна в спадок від СРСР отримала розгорнуту систему науково-дослідних інститутів (НДІ). Ці НДІ мали відношення до «критичних технологій», що забезпечують створення зразків озброєння та військової техніки, які спроможні успішно протидіяти іноземним зразкам і не можуть бути гарантовано імпортованими та сприяють вирішенню найважливіших технологічних проблем у сферах національної безпеки і оборони держави. Серед таких технологій найважливішими є технології щодо розробки радіоелектроніки, радіолокаційних засобів та лазерної техніки, а також виявлення малопомітних цілей.

Стосовно другої складової можна зазначити, що Україна успадкувала значну кількість підприємств оборонної промисловості. До їх числа входили як унітарні виробництва, так і багатопрофільні виробничі об'єднання, у тому числі, з власними НДІ і конструкторськими бюро.

Але разом з наявністю цих двох складових в Україні досі відсутні: вітчизняна школа та спеціалізоване конструкторське бюро зі створення ЗРК; низка критичних технологій, що необхідна для розробки окремих складових ЗРК; напрацьована кооперація вітчизняних підприємств у цій галузі; відповідні напрацювання щодо протидії сучасним засобам радіоелектронного подавлення, які б можливо було використати під час створення вітчизняного ЗРК.

Можливими варіантами вирішення зазначеної проблеми можуть бути:

1. Закупівля мобільного ЗРК на базі авіаційних ракет класу «повітря – повітря» із необхідними тактико-технічними характеристиками за кордоном. Але, враховуючи вартість таких ЗРК, вони можуть розглядатися лише як варіант часткового вирішення проблеми створення ефективної системи протиповітряної оборони (ППО) України.

2. Створення зазначеного ЗРК у кооперації підприємств України та іноземних підприємств, які спеціалізуються на розробці та виробництві таких ЗРК, для зниження ризиків успішної реалізації проекту розробки. Ймовірність створення ЗРК за таким варіантом вважається вкрай низькою.

3. Розробка зазначеного ЗРК кооперацією підприємств оборонної промисловості України з урахуванням досвіду вітчизняних підприємств, зокрема Державного підприємства «Державне Київське конструкторське бюро “Луч”», Державного підприємства «Конструкторське бюро “Південне”» тощо. Ці українські підприємства мають низку напрацювань у сфері створення власного ЗРК. Реалізація їх рішень буде набагато дешевшою, враховуючи, що значна кількість комплектуючих уже існує в серійному виробництві.

Мета статті полягає в тому, що на основі аналізу досвіду світових розробників мобільних зенітних ракетних комплексів, можливостей підприємств обороно-промислового комплексу України щодо створення вітчизняного

мобільного ЗРК в інтересах протиповітряної оборони та тактико-технічних характеристик крилатих ракет типу «Калібр» збройних сил російської федерації, які масово застосовуються по території України, в умовах запровадженого воєнного стану визначити загальний підхід до створення вітчизняного мобільного ЗРК для боротьби з крилатими ракетами, його основні тактико-технічні характеристики, шляхи комплексування складових частин у комплекс, спроможний здійснювати виявлення і ураження ворожих ракет вказаного типу.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Крилата ракета «Калібр» (рф) це оновлена розробка радянської ракети 3М10, яку здійснило ОКБ-8 (науково-виробниче підприємство «Новатор»). Ракета 3М10 є копією американської крилатої ракети «Tomahawk». Наземна версія ракети 3М10 для комплексу РК-55 була на озброєнні союзу лише декілька років, адже потім її заборонили договором про ліквідацію ракет середньої та меншої дальності між СРСР та США, який підписали у грудні 1987 року.

Виходячи з аналізу відкритих джерел [5–13], можна зазначити, що особливістю цих ракет є їхня універсальність. Їх можна запускати як з кораблів та підводних човнів, так і з літаків та наземних пускових установок. Головна небезпека крилатих ракет цього типу полягає, по-перше, в їх швидкості, яка складає 180–240 м/с. По-друге, ці ракети йдуть на малих висотах і фактично можуть лавірувати з урахуванням рельєфу місцевості. Це знижує ефективність роботи по ній не лише засобів протиповітряної оборони (ППО) України, а й ППО країн НАТО.

На озброєнні російської федерації є чотири типи ракетних комплексів «Калібр»:

- ракетні комплекси «Калібр» для озброєння підводних човнів (Калибр-ПЛЭ, експортне позначення Club-S);
- ракетні комплекси для озброєння бойових надводних кораблів (Калибр-НКЭ, експортне позначення Club-N);
- мобільні ракетні комплекси «Калібр-М» (експортне позначення Club-M);
- комплекси ракетної зброї авіаційного базування «Калібр-А» (експортне позначення Club-A).

На рис. 1 наведені складові частини ракети 3М-14.

Основні тактико-технічні характеристики ракет комплексу «Калібр» наведені в табл. 2.

За результатами досліджень уламків збитої ракети 3М14 встановлено, що випромінювання її радіовисотоміра відбувається у діапазоні частот 2,7–4,6 ГГц, а випромінювання активної радіолокаційної головки самонаведення – у діапазоні частот 9–10 ГГц.

Відповідно до зазначених у табл. 2 параметрів розглянемо насамперед демаскуючі ознаки, на основі яких можливе виявлення дозвукової крилатої ракети типу «Калібр». До них відносяться:

- ефективна площа розсіювання (ЕПР) з розкладеними крилами;
- висота польоту на рівні 10–20 метрів над водною (земною) поверхнею;
- інфрачервоне випромінювання від сопла працюючого турбореактивного двигуна;

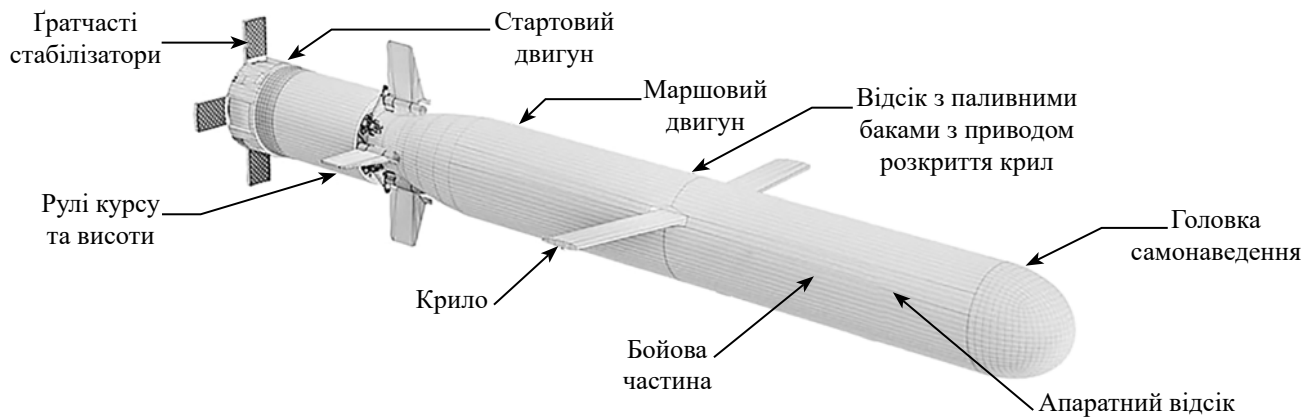


Рис. 1. Розміщення складових частин ракети 3М-14

Таблиця 2. Основні тактико-технічні характеристики ракет комплексу «Калібр»

Ракета	3М-54	3М-54-1	3М-14К(Т)
Зовнішній вигляд			
Призначення	для ураження морських цілей	для ураження морських цілей	для ураження наземних цілей
Довжина, м	8,22	6,20	7–8,2
Діаметр, мм	533	533	533
Стартова маса, кг	2300	1800	1770
Бойова частина, кг	Прониклива фугасна 200	Прониклива фугасна 400	Осколкова-фугасна або касетна 450
Дальність польоту, км	220	300	2500
Швидкість польоту, М	На марші: 0,8 Біля цілі: 2,9	0,8	0,8
Траєкторія (висота польоту)	На марші: 20 м Біля цілі: 10 м	20 м	Над морем: 20 м Над суходолом: 50–150 м
Система управління	ІНС + РЛГСН	ІНС + РЛГСН	ІНС + Терком + корекція за даними ГЛОНАСС або GPS+ РЛГСН

– характерний звук працюючого турбореактивного двигуна;
– випромінювання радіотехнічного обладнання: радіовисотомір, головка самонаведення.

Також виявлені окремі особливості застосування крилатих ракет:

- маршрут польоту від стартової позиції до заданої цілі по контрольним точкам;
- постійна швидкість польоту до 0,9 М;
- значні похибки за азимуту і дальністю від заданої для ураження цілі;
- навігаційна система працює від трьох підсистем одночасно: вбудована інерційна навігаційна система, супутникові GLONASS, GPS;
- залповий пуск ракет різних типів для подолання системи ППО;

– складність у розпізнаванні заданого польотним завданням радіолокаційного образу наземної цілі на фоні радіоконтрастних перешкод.

Як першочергову демаскуючу ознаку слід розглянути ефективну площу радіолокаційного розсіювання σ повітряного об'єкта або як ще іноді застосовують термін «сила цілі». Це характеристика відбиваючої здатності цілі, що визначається відношенням потужності електромагнітної енергії, яка відбивається ціллю в напрямку приймача (радіолокаційної станції), до поверхневої щільності потоку енергії падаючої плоскості хвилі. Вираховується за формулою:

$$\sigma = \frac{4\pi r^2 S_r}{S_t}, \quad (1)$$

де r – радіус еквівалентного розсіювача;

S_r – щільність потоку потужності падаючої хвилі у точці знаходження цілі;

S_t – щільність потоку потужності розсіяної хвилі у антени радіолокаційної станції.

Відповідно [14] максимальна дальність виявлення радіолокаційних цілей визначається наступним рівнянням активної радіолокації

$$r_{max} = \text{anti} \lg \{0,025 \cdot EP + PC - PP - 2\Gamma_1 + 20 \lg(F_{31} F_{32}) - 142\}, \quad (2)$$

де r_{max} (км) – максимальна похила дальність; $EP = 10 \cdot \lg \{EG_1 / (K_{розр} N_0 / A_2 \text{ [м}^2\text{)})\}$ (дБм²) – енергетичний показник радіолокатора, який визначається його технічними можливостями і дорівнює відношенню в дБ ефективної енергії випромінюваного сигналу EG_1 до частини порогової енергії прийнятого сигналу $K_{розр} N_0 / A_2$, що приходить на 1 м² ефективної площі приймальної антени; $PC = 10 \lg \sigma_{ц.сер}$ (дБм²) – рівень в дБ середньої ефективної площі цілі відносно 1 м²; $PP = 10 \cdot \lg [(N_0 + N_{п.вх}) / N_0]$ (дБ) – рівень в дБ перевищення спектральної щільності потужності шумових коливань при перешкодах відносно спектральної щільності потужності власних шумів на вході приймача; $2\Gamma_1$ (дБ) – втрати, що обумовлені поглинанням в середовищі розповсюдження; F_{31} – множник Землі випромінюючої антени; F_{32} – множник Землі приймальної антени.

На підставі формули (2) побудуємо кругову діаграму ЕПР ракети типу «Калібр» (рис. 2).

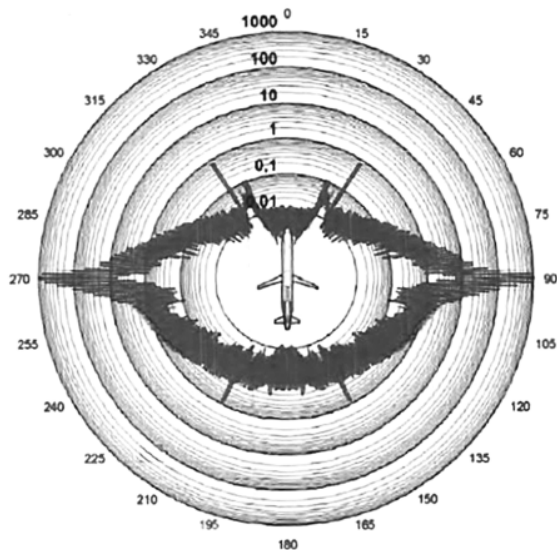


Рис. 2. Кругова діаграма ЕПР цілі типу «Калібр» на частоті 1,3 ГГц

Дальність виявлення при цьому складає: для 0–45° – 18–27 км; для 60° – 45 км; для 90° – 50 км. Час зав'язки траси та видачі інформації дорівнює 0,6 с.

Як відомо, звук розповсюджується у повітрі з середньою швидкістю 343 м/с або 1236 км/год., а джерело звуку може бути виявлено за допомогою певних акустичних приймачів. Для конкретного завдання можуть бути створенні відповідні акустичні системи [15].

Для аналізу акустичних параметрів двигуна ракети було взято відеофайл із записом польоту крилатої ракети

3М14 «Калібр» в одному з центральних регіонів України на відстані 1 км та за допомогою програмного конвертора переведено у аудіофайл формату «mp3». Далі було проведено спектральний аналіз аудіофайлу за допомогою відповідного програмного забезпечення. Результат цього аналізу представлений у вигляді сонограми (рис. 3), де по осі ординат відкладено частоту прийнятого акустичного сигналу працюючого двигуна в кГц, по осі абсцис – час запису в секундах. З рисунка видно, що центральна частота прийнятого акустичного сигналу працюючого двигуна складає приблизно 7 кГц, а при віддаленні ракети від точки запису, у проміжку часу з четвертої до десятої секунд, частота прийнятого сигналу спадає з 7 до 4 кГц, що пояснюється ефектом Доплера. На даній сонограмі не зафіксовано акустичний сигнал при наближенні ракети внаслідок низького співвідношення сигнал/шум записуючого пристрою (одиначного мікрофону). Значний рівень шуму у діапазоні частот нижче 2 кГц обумовлений шумами промислових підприємств, що оточують місце запису.

За результатами аналізу сонограми роботи двигуна під час польоту іншої крилатої ракети 3М14 «Калібр» в одному зі східних регіонів України (рис. 4) можна зазначити, що центральна частота прийнятого акустичного сигналу працюючого двигуна також складає приблизно 7 кГц, а при віддаленні ракети від точки запису, у проміжку часу з першої до п'ятої секунди, спадає з 6,5 до 4 кГц, що також пояснюється ефектом Доплера. Акустичний сигнал при наближенні ракети також не зафіксовано на цій сонограмі внаслідок низького співвідношення сигнал/шум записуючого пристрою (одиначного мікрофону).

Таким чином, для виявлення крилатих ракет у складі МЗРК можливо застосувати пасивний акустичний пеленгатор з широкосмуговою акустичною антенною решіткою кругового огляду з вузькими діаграмами спрямованості у вертикальній та горизонтальній площинах в діапазоні частот від 4 до 8 кГц. При застосуванні двох пасивних пеленгаторів, що знаходяться на певній відстані один від одного, методом триангуляції можливо встановити 2D координати та вирахувати траєкторію польоту крилатої ракети для наведення засобів ураження.

На основі проведеного аналізу вбачається можливим, що найбільш швидким засобом виявлення та видачі цілевказівки може стати трьохкоординатна радіолокаційна станція, а засобом ураження крилатих ракет типу «Калібр» – ракети класу «повітря – повітря» з інфрачервоною, напіваактивною чи активною радіолокаційною головкою самонаведення. Алгоритмічний базис повинен нарощуватись паралельно з нарощуванням засобів виявлення демаскуючих ознак ворожих ракет по мірі бойового застосування комплексу.

Мобільний ЗРК на базі ракет класу «повітря – повітря» є засобом ППО родів військ ЗС України та призначений для ураження насамперед крилатих ракет, а також літаків, вертольотів, безпілотних літальних апаратів в умовах радіоелектронної протидії супротивника.

Виходячи з вищевикладеного, під час розробки даного МЗРК в умовах воєнного стану пропонується використовувати вже існуючі окремі вироби як складові частини МЗРК з мінімальним їх доопрацюванням та комплексу-

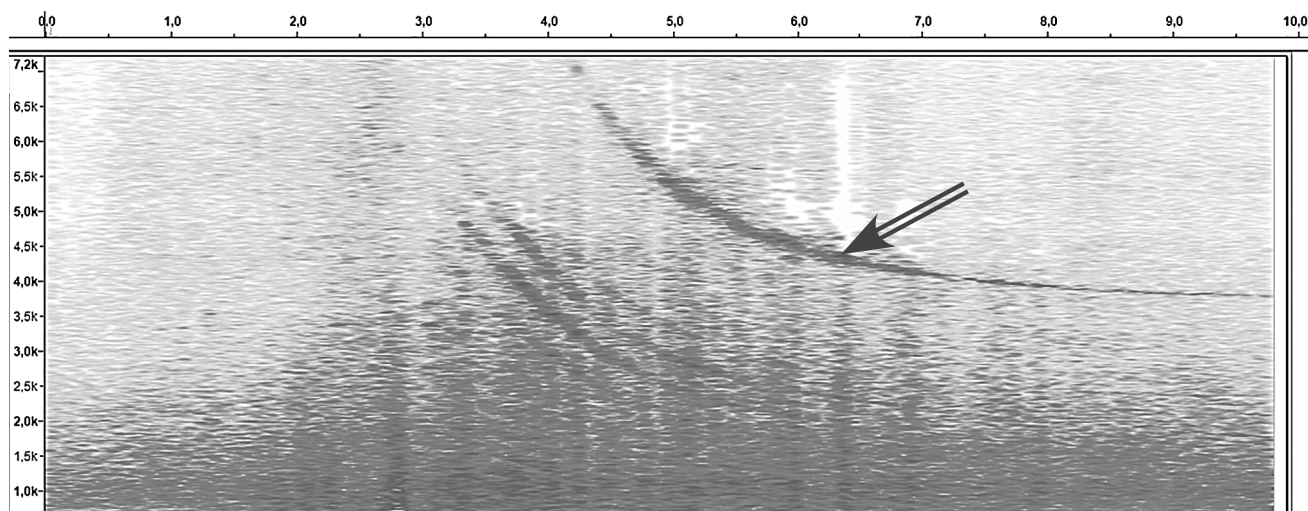


Рис. 3. Сонограма роботи двигуна ракети 3М14 «Калібр» (відстань 1 км)

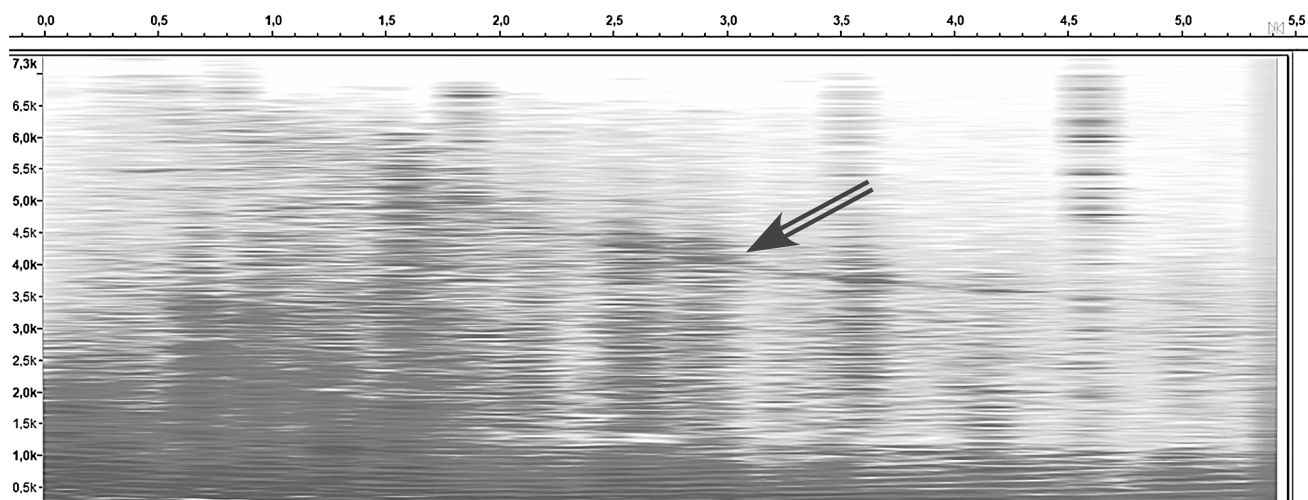


Рис. 4. Сонограма роботи двигуна ракети 3М14 «Калібр» (відстань 1,5 км)

ванням у єдиний комплекс. Передбачається можливість поступового нарощування МЗРК додатковими засобами виявлення та ураження визначених засобів повітряного нападу. Крім того, перевагою такого підходу є використання наявних логістичних запасів засобів ураження та потужностей промисловості іноземних партнерів для їх серійного виробництва.

З класичної точки зору зенітний ракетний комплекс – це мінімально необхідна сукупність функціонально пов'язаних засобів, призначених для ураження повітряних цілей зенітними керованими ракетами. До складу ЗРК входять засоби виявлення, впізнавання і цілевказання, засоби управління польотом ЗКР, засоби «підсвічування» цілі, пускові установки з ЗКР, засоби транспортування, зберігання та заряджання ЗКР [4].

Тому, у своєму складі МЗРК повинен мати:

- оглядову трьохкоординатну РЛС виявлення цілей;
- пункт бойового управління з автоматизованими робочими місцями;
- пускові установки зі станцією наведення ракет та пусковими пристроями (3–4 одиниці);
- зенітні керовані ракети на базі ракет класу «повітря – повітря»;

– засоби транспортування, зберігання та заряджання ракет;

– засоби автономного електроживлення;

– засоби УКВ радіозв'язку, навігації та топоприв'язки.

Основні тактико-технічні характеристики такого ЗРК наведені в табл. 3.

Засобом виявлення повітряних цілей та видачі цілевказання комплексу може стати активна оглядова РЛС сантиметрового діапазону частот з діаграмами спрямованості у горизонтальній та вертикальній площинах, здатними виявляти повітряні об'єкти з відповідною ЕПР, швидкістю і висотою польоту. Такі ознаки повинні використовуватись в алгоритмах класифікації цілей комплексу, а також бути основою у заходах радіотехнічної протидії на випромінювання відповідного обладнання ракети (радіовисотомір, головка самонаведення). Інші наведені демаскуючі ознаки крилатих ракет повинні виявлятися відповідними технічними засобами та у подальшому входити до складу МЗРК.

Як перспективну ЗКР для розроблюваного МЗРК можна розглядати або ракету класу «повітря – повітря» Р-27Е власного українського виробництва, або аналогічні ракети країн НАТО, які наведені в табл. 1. Актуальним є й

Таблиця 3. Основні тактико-технічні характеристики МЗРК

Дальність виявлення та супроводження цілі типу «крилата ракета», км	12
Зона огляду повітряного простору • за азимутом • за кутом місця	360° 0 ... 60°
Максимальний час неперервного огляду повітряного простору, год.	3
Діапазон швидкостей цілей, м/с	30 ... 500
Кількість одночасно супроводжуваних цілей, од.	10
Кількість одночасно обстрілюваних цілей, од.	4
Дальня / ближня межа зони ураження, км	10 / 2
Верхня / нижня межа зони ураження, км	8 / 0,02
Кількість ракет на одній пусковій установці, од.	4
Кількість осіб бойової обслуги пункту бойового управління, люд.	2
Кути стрільби ракетами • за азимутом • за кутом місця	-102°...+70° 30°; 55°
Тип приводу пускового пристрою	електромеханічний
Час згортання (розгортання), хв.	5

використання міжвидової уніфікації – застосування ракет класу «повітря – повітря» у корабельних ЗРК.

Комплекс здатний вести бойові дії як в автономному режимі, так і за даними зовнішніх цілевказівок.

До чотирьох таких МЗРК з внутрішньою локальною мережею складатимуть структурну одиницю (дивізіон) і зможуть виконувати завдання з прикриття стратегічних та інших важливих військових та інфраструктурних об'єктів від ракетних ударів на загрозливих напрямках. У свою чергу, дивізіон матиме зв'язок для обміну тактичними даними з системою управління старшого рівня.

ВИСНОВКИ

Крилаті ракети комплексу «Калібр» під час ударів збройних сил російської федерації по території України долають протиповітряну оборону і уражають намічені цілі, чим спричиняють значні жертви серед мирного населення, а також руйнування цивільної та військової інфраструктури України.

Окрім аналогів іноземних зенітних ракетних комплексів створювались на базі ракети класу «повітря – повітря», що підтверджує можливість їх застосування у класі «поверхня – повітря».

В умовах воєнного стану цілком виправданим є створення у стислі терміни мобільного зенітного ракетного комплексу. При цьому, комплекс повинен передбачати можливість поступового нарощування спроможностей щодо виявлення всіх демаскуючих ознак крилатих ракет та видачі цілевказання засобом їх ураження.

Визначений загальний підхід до створення вітчизняного мобільного ЗРК полягає у наступному:

– створення мобільного зенітного ракетного комплексу

у в інтересах протиповітряної оборони для захисту від крилатих ракет у стислий термін в умовах воєнного стану пропонується здійснювати із використанням вже наявних засобів виявлення та їх комплексування, існуючих логістичних запасів та потужностей промисловості іноземних партнерів щодо серійного постачання засобів ураження; – комплекс може бути нарощений іншими (у тому числі акустичними, оптичними та ін.) засобами виявлення та ураження насамперед крилатих ракет і малорозмірних цілей, об'єднаний у локальну мережу та мати зв'язок для обміну тактичними даними з системою управління старшого рівня.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Офіційний сайт DIEHL Defence. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.diehl.com/defence/en/products/air-defence-systems>.
- Офіційний сайт KONGSBERG. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kongsberg.com/ru/kda/what-we-do/defence-and-security/integrated-air-and-missile-defence/nasams-air-defence-system>.
- Офіційний сайт RAFAEL. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rafael.co.il/worlds/air-missile-defense/air-defense>.
- Скорик А.Б., Єрмошин М.О., Воронін В.В., Кирилюк А.С. Можливості щодо створення вітчизняного зенітного ракетного комплексу. *Системи озброєння і військова техніка*. 2010. № 2(22). С. 69–76.
- Животовський Р.М., Шинкарук О.М., Яковлев М.Ю., Варсегов А.С. Аналіз крилатих ракет повітряного базування рф у війні проти України 2022 року. *Озброєння та військова техніка*. 2022. № 1(33). С. 83–92. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2022.1\(33\)83-92](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2022.1(33)83-92).
- Ярош С.П., Рогуля О.В. Аналіз тактики бойового застосування крилатих ракет при нанесенні ударів по важливих державних об'єктах та угрупованнях військ. *Зб. наук. пр. Харківського ун-ту Повітряних Сил імені Івана Кожедуба*. 2019. № 3(61). С. 35–44. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://10.30748/zhups.2019.61.06>.
- Загорка О.М., Дейнега О.В. Комплексна боротьба з крилатими та балістичними ракетами. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2015. № 1(18). С. 6–11.
- Тарасов С.М., Хоменко Д.М. Особливості застосування та боротьби з крилатими ракетами в сучасних умовах ведення збройної боротьби. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2013. № 2(11). С. 52–53. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mind.ua/news/20240907-zapusk-odnietyi-kirilatoiy-raketi-tipu-kalibr-koshtue-rosiyi-65-mln>.
- Офіційний сайт CHAS.NEWS. Ракета «Калібр»: що це за зброя, якою росія щодня атакує нашу країну. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://chas.news/current/raketa-kalibr-scho-tse-za-zbroya-yakouy-rosiya-schodnya-atakuje-nashu-krainu>.
- Офіційний сайт FAKTY.COM.UA. Дальність стрільби до 300 км: що відомо про крилаті ракети Калібр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://fakty.com.ua/ua/ukraine/20221013-vrazhaye-czili-za-sotni>.

kilometriv-shho-vidomo-pro-rakety-kalibr-yakymy-rf-bombyt-ukrayinu.

11. Офіційний сайт UNIAN.UA. Чому важко збити крилату ракету «Калібр» і в чому її головний секрет. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.unian.ua/war/raketa-kalibr-harakteristiki-i-chomu-jiji-vazhko-zbiti-novini-vtorgnennya-rosiji-v-ukrajinu-11795691.html>.
12. Офіційний сайт UK.WIKIPEDIA.ORG. Калібр (крилаті ракети). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Калібр_\(крилаті_ракети\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Калібр_(крилаті_ракети)).
13. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория : справ.; под ред. Я.Д. Ширмана. М.: ЗАО «МАКВИС». 1998. 828 с.
14. Дідковський В.С., Коржик О.В., Лейко О.Г., Найд С.А., Порошин С.М., Петрищев О.М. Направленість інтерференційних та фокусованих акустичних антен. Електронний навчальний посібник з грифом «Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ»» (Свідчення про надання грифа електронному навчальному виданню НМУ № Е 11/12-193 від 26 квітня 2012 р.). Київ: НТУУ «КПІ». 2012. 150 с. 13 МБ. Українською мовою; № протоколу метод. ради Е 11/12-193; дата 26.04.2013.

REFERENCES

1. The official site of DIEHL Defence. Available at: <https://www.diehl.com/defence/en/products/air-defence-systems>.
2. The official site of KONGSBERG. Available at: <https://www.kongsberg.com/ru/kda/what-we-do/defence-and-security/integrated-air-and-missile-defence/nasams-air-defence-system>.
3. The official site of RAFAEL. Available at: <https://www.rafael.co.il/worlds/air-missile-defense/air-defense>.
4. Skoryk, A., Yermoshyn, M., Voronin, V. & Kyrylyuk, A. (2010). "Mozhlyvosti shchodo stvorennia vitchyznianoho zenitnoho raketnoho kompleksu" [Possibilities regarding the creation of a domestic anti-aircraft missile complex], *Systems of Arms and Military Equipment*. No. 2(22). Pp. 69–76.
5. Zhivotovsky, R., Shincaruk, O., Yakovlev, M. & Varsegov, A. (2022). "Analiz krylatykh raket povitrianoho bazuvannia rf u viini proty Ukrainy 2022 roku" [Analysis of the air based cruise missiles of the russia in the war against Ukraine in 2022], *Weapons and Military Equipment*. No. 1(33). Pp. 83–92. <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.61.06>.
6. Yarosh, S. & Rohulia, O. (2019). "Analiz taktyky boiovoho zastosuvannia krylatykh raket pry nanesenni udariv po vazhlyvykh derzhavnykh ob'ekтах ta uhrupovanniakh viisk" [Analysis of the tactics of the fighting application of cruise missiles in the application of impact on important state features and the plants group], *Scientific works of Kharkiv Nat. Air Force Univ*. No. 3(61). Pp. 35–44. Available at: <http://10.30748/zhups.2019.61.06>.
7. Zagorka, O. & Deinega, O. (2015). "Kompleksna borotba z krylatymy ta balistychnymy raketamy" [Complex fight with cruise and ballistic missiles], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*. No. 1(18). Pp. 6–11.
8. Tarasov, S. & Khomenko, D. (2013). "Osoblyvosti zastosuvannia ta borotby z krylatymy raketamy v suchasnykh umovakh vedennia zbroinoi borotby" [Features of application and fight against winged-rockets in the modern terms of conduct of the armed fight], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*. No. 2(11). Pp. 52–53.
9. The official site of MIND.UA (2022), "Zapusk odniiei krylatoi rakety typu «Kalibr» koshtuie rosii \$6,5 mln" [The launch of one «Kalibr» cruise missile costs russia \$6.5 million]. Available at: <https://mind.ua/news/20240907-zapusk-odnieyi-krylatoyi-rakety-tipu-kalibr-koshtue-rosiyi-65-mln>.
10. The official site of CHAS.NEWS (2022), "Raketa «Kalibr»: shcho tse za zbroia, yakoiu rosiiia shchodnia atakuie nashu krainu" [Caliber missile: what kind of weapon is this, with which russia attacks our country every day]. Available at: <https://chas.news/current/raketa-kalibr-schotse-za-zbroya-yakoyu-rosiya-schodnya-atakue-nashu-krainu/>.
11. The official site of FAKTY.COM.UA (2022), "Dalnist strilby do 300 km: shcho vidomo pro krylati rakety «Kalibr»" [Firing range up to 300 km: what is known about «Kalibr» cruise missiles]. Available at: <https://fakty.com.ua/ua/ukraine/20221013-vrazhaye-czili-za-sotni-kilometr-riv-shho-vidomo-pro-rakety-kalibr-yakymy-rf-bombyt-ukrayinu>.
12. The official site of UNIAN.UA (2022), "Chomu vazhko zbyty krylatu raketu «Kalibr» i v chomu yii holovnyi sekret" [Why is it difficult to shoot down the «Kalibr» cruise missile and what is its main secret]. Available at: <https://www.unian.ua/war/raketa-kalibr-harakteristiki-i-chomu-jiji-vazhko-zbiti-novini-vtorgnennya-rosiji-v-ukrajinu-11795691.html>.
13. The official site of UK.WIKIPEDIA.ORG (2022), "«Kalibr» (krylati rakety)" [Caliber (cruise missiles)]. Available at: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Калібр_\(крилаті_ракети\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Калібр_(крилаті_ракети)).
14. Radioelektronnyie sistemy: osnovy postroeniya i teoriia : sprav. [Radio-electronic systems: fundamentals of construction and theory: Ref.], ed. by Ya.D. Shirman. ZAO MAKVIS. M. 1998. 828 p.
15. Didkovskiy, V.S., Korzhik, O.V., Leiko, O.H., Naida, S.A., Poroshyn, S.M. & Petrishchev, O.M. Направленість інтерференційних та фокусованих акустичних антен. Електронний навчальний посібник з грифом «Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ»» (Свідчення про надання грифа електронному навчальному виданню НМУ № Е 11/12-193 від 26 квітня 2012 р.). "Направленість інтерференційних та фокусованих акустичних антен. Електронний навчальний посібник з грифом «Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ»» (Свідчення про надання грифа електронному навчальному виданню НМУ № Е 11/12-193 від 26 квітня 2012 р.). [Directivity of interference and focused acoustic antennas. Electronic study guide with the seal "Recommended by the Methodological Council of NTUU "KPI" (Certificate of granting seal to the electronic educational publication of NMU No. E 11/12-193 dated April 26, 2012)]. K.: NTUU «KPI», 2012. 150 p. 13 MB. In Ukrainian. No. protocol method. Council E 11/12-193; date 26.04.2013.

Zvieriev O., Melenko Yu., Petruk S., Ramshov D.

**CREATION OF A DOMESTIC SHORT-RANGE
MOBILE AIRCRAFT MISSILE COMPLEX
BASED ON AVIATION MISSILES FOR FIGHTING
THE RUSSIAN FEDERATION'S CRUISE MISSILES
IN THE CONDITIONS OF A STATE OF MARTIAL**

The article deals with the analysis of the experience of global developers of mobile anti-aircraft missile systems, as well as the capabilities of Ukrainian defense-industrial complex enterprises to create a domestic mobile air defense system in the interests of air defense to combat cruise missiles. The tactical and technical characteristics of the Kalibr-type cruise missiles of the armed forces of the Russian Federation were considered and a general approach to the creation of a domestic model capable of detecting and defeating enemy missiles of the specified type was determined. Its main tactical and technical characteristics are determined, as well as ways of integrating the component parts into a single complex capable of detecting and destroying enemy cruise missiles.

The defined general approach to the creation of a domestic mobile air defense system is as follows:

the creation of a mobile anti-aircraft missile complex in the interests of air defense to protect against cruise missiles in a short period of time in the conditions of martial law is proposed to be carried out with the use of already existing means of detection and their integration, existing logistics stocks and industrial capacities of foreign partners for the serial supply of means of destruction;

the complex can be augmented with other (including acoustic, optical, etc.) means of detection and destruction, first of all, of cruise missiles and small-sized targets, combined into a local network and having a connection for exchanging tactical data with a higher-level control system.

Keywords: martial law, missile strikes, 3M14 and 3M54 missiles, mobile anti-aircraft missile complex.

Відомості про авторів:

Зверєв Олексій Олексійович

кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник відділу розвитку зенітних ракетних систем та комплексів 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/0000-0003-2274-3115>

e-mail: gans7995@gmail.com

Меленко Юрій Ярославович

кандидат технічних наук
начальник науково-дослідного відділу розвитку військово-морської техніки 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/0000-0002-1805-204X>

e-mail: yurimel75@gmail.com

Петрук Сергій Миколайович

кандидат технічних наук, старший дослідник
начальник відділу – заступник начальника 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/0000-0002-9644-1550>

e-mail: petruksn@ukr.net

Рамшов Денис Володимирович

кандидат технічних наук
науковий співробітник відділу розвитку зенітних ракетних систем та комплексів науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Повітряних Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України

м. Київ, Україна

e-mail: denis.ramshov@ukr.net

Information about the authors:

Zvieriev Oleksii

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Senior Researcher of Scientific Research Department of Development of Surface-to-Air Missile Systems and Complexes of Scientific Research Management of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-2274-3115>

e-mail: gans7995@gmail.com

Melenko Yuri

Candidate of Technical Sciences
Chief of Scientific Research Department of Development of Naval Technics of Scientific Research Management of Naval Armament and Naval Technics of Navy of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-1805-204X>

e-mail: yurimel75@gmail.com

Petruk Serhii

Candidate of Technical Sciences, Senior Research
Deputy Chief of Scientific Research Management of Armament and Military Equipment of Air Forces of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-9644-1550>

e-mail: petruksn@ukr.net

Denis Ramshov

Candidate of Technical Sciences
Researcher of Scientific Research Department of Development of Surface-to-Air Missile Systems and Complexes of Scientific Research Management of Armament and Military Equipment of Air Forces of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine

e-mail: denis.ramshov@ukr.net

УДК 623.437.4; 623.438.2; 629.346

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4\(36\).29-34](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).29-34)

П. І. НОР, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0001-5387-0093>

О. М. ГРЕБЕНИК, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0002-1595-6967>

В. В. ШАРАПА
<https://orcid.org/0000-0003-1233-7666>

С. П. ПОЧЕРНІН
<https://orcid.org/0002-0002-4804-3259>
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО РІВНЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ЗРАЗКІВ ВІЙСЬКОВОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Проведена комплексна порівняльна оцінка зразків озброєння та військової техніки, а саме військової автомобільної техніки, на прикладі сучасних броньованих санітарних машин, що перебувають на озброєнні Медичних сил Збройних Сил України та провідних країн світу, а також трофейних зразків Збройних Сил російської федерації. Оцінка виконана з використанням авторської методики комплексної порівняльної оцінки тактико-техніко-економічних показників однотипних зразків озброєння та військової техніки.

Ключові слова: озброєння та військова техніка, військова автомобільна техніка, броньовані санітарні машини, техніко-економічний рівень, тактико-технічні характеристики.

ВСТУП

В умовах діючого в Україні воєнного стану для відсічі збройної російської агресії імплементація на рівні військово-технічної політики держави дієвих та швидких механізмів забезпечення ЗС та інших складових сил оборони України необхідними сучасними зразками озброєння та військової техніки (ОВТ) має першочергову актуальність і невідкладний пріоритет. Неминучі при веденні інтенсивних бойових дій втрати військової техніки тільки підсилюють актуальність цього питання. Шляхи вирішення цього питання добре відомі, а в даних умовах, за рахунок міжнародної військово-технічної допомоги і розширенні заходів військово-технічного співробітництва, вони суттєво розширились. Розширилася і номенклатура доступних для постачання в Збройні Сили та інші складові сил оборони України зразків ОВТ.

При реалізації вказаних заходів, як правило, виникає питання вибору найбільш прийняттого, на даний час,

зразка типу ОВТ, що планується до постачання. Для його оптимального вирішення необхідно проведення техніко-економічної експертизи всіх доступних варіантів зразків типу ОВТ, в тому числі і модернізованих власних і навіть трофейних. Така експертиза корисна також для порівняльної оцінки технічного рівня вітчизняних та зразків ОВТ реального і ймовірного противника.

Метою статті є демонстрація на конкретному реальному прикладі можливостей методики порівняльної техніко-економічної оцінки зразків ОВТ за критерієм військово-технічного рівня, що розроблена і впроваджена в Центральному науково-дослідному інституті озброєння та військової техніки Збройних Сил України (ЦНДІ ОВТ ЗС України).

Науково-прикладну цінність мають і самі одержані результати порівняльної оцінки спеціалізованих зразків військової автомобільної техніки – сучасних броньованих санітарних машин (БСМ), що приведені в цій публікації.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Стаття сформована на матеріалі, що був одержаний в ході експертизи трофейних зразків нової російської колісної БСМ ЗСА («защищенный санитарный автомобиль» в російській класифікації) «Линза». Цей зразок створений на базі шасі автомобіля КАМАЗ 53949 «Тайфун-К», прийнятий на оснащення медичних сил військових формувань російської федерації (рф) в 2021 році і вже встиг не тільки прийняти участь у військових діях рф проти України, а і декілька екземплярів були пошкоджені і захоплені українськими військовими формуваннями [1]. Автомобіль є сучасним зразком і створений з урахуванням новітніх вимог до техніки такого класу. Медичне обладнання на трофейних зразках було відсутнє, тому дану складову його функціонального призначення аналізувати досить складно і в даній публікації ця тематика не розглядається. Взагалі, на наш погляд, медичне обладнання таких автомобілів встановлюється за опційним принципом, на вимогу конкретного замовника, і може бути в ціновому еквіваленті порівнювальним з ціною самого автомобіля.

Для коректної порівняльної оцінки нової російської колісної БСМ «Линза» було відібрано ряд закордонних найбільш поширених аналогів, що приведені в подальшому в таблиці та на графіках в цій публікації. Для порівняння у вибірку було включено і український аналог такої машини – МТ-ЛБС, прийнятий на озброєння ЗС України [2]. Він створений на базі модернізованого варіанту легкого багатоцільового гусеничного броньованого транспортера-тягача МТ-ЛБ. На відміну від решти зразків МТ-ЛБС створений на вживаному модернізованому шасі, яке пройшло ремонт і дообладнання, що має як переваги, так і недоліки.

Для порівняльної оцінки БСМ була використана розроблена і реалізована в ЦНДІ ОВТ ЗС України методика комплексної порівняльної оцінки зразків ОВТ за критерієм «технічна досконалість – вартість – ресурс», яка детально розглянута в [3]. Відповідно до цієї методики техніко-економічні можливості будь-якого зразка ОВТ оцінюються за допомогою узагальненого критерію – коефіцієнта техніко-економічного рівня зразка – $K_{\text{ТЕР}}$. В

якості складових цього показника прийнято нормовані за рівнем впливу за допомогою вагових коефіцієнтів значення коефіцієнтів технічної досконалості – $K_{ТД}$, відносної вартості – K_B та запасу ресурсу – $K_{ЗР}$, відібраних для порівняльного аналізу зразків ОВТ.

На відміну від загальновідомих критеріїв «ефективність – вартість» та «ефективність – вартість – час», запропонований критерій військово-технічного рівня «технічна досконалість – вартість – ресурс» має ряд переваг. Він конкретизує та спрощує оцінку ефективності зразка ОВТ (через коефіцієнт $K_{ТД}$). Введення показника залишкового ресурсу ОВТ дозволяє оцінити можливі переваги і недоліки всієї номенклатури альтернативних варіантів однотипних зразків ОВТ з різним залишковим ресурсом, в тому числі і вживаних відремонтованих та модернізованих.

Перша складова – $K_{ТД}$, це інтегральний узагальнюючий показник технічного рівня ОВТ, що визначається на основі порівняльного аналізу тактико-технічних характеристик (ТТХ) ряду однотипних зразків. Методика, алгоритм та програмний продукт розрахунку коефіцієнтів технічної досконалості $K_{ТД}$, зразків ОВТ в порівнянні з обраним еталоном використовується в ЦНДІ ОВТ ЗС України для аналізу їх технічного рівня при прийнятті рішення щодо закупівлі нових (модернізованих) зразків ОВТ та проведенні різних експертиз [4–6]. Визначені значення коефіцієнтів технічної досконалості зразків ОВТ можуть виступати як кінцевий продукт їх порівняльного аналізу, так і як складова показників більш високого рівня – коефіцієнтів техніко-економічного рівня зразків ОВТ – $K_{ТЕР}$.

При реалізації вказаних в [3, 5] основних принципів і рекомендацій розрахунок коефіцієнта технічної досконалості зразка ОВТ k -го типу – $K_{ТДk}$ здійснюється за допомогою виразу:

$$K_{ТДk} = \sum_{i=1}^6 K_{ТДi} \Pi_{icp} = \sum_{i=1}^6 \left(\sum_{j=1}^n K_{ТДji} M_{jicp} \right) \Pi_{icp}, \quad (1)$$

де n – кількість ТТХ в i -й групі декомпозиції;

M_{jicp} – опосередковане значення вагового коефіцієнта j -ї ТТХ в i -й групі декомпозиції;

Π_{icp} – опосередковане значення вагового коефіцієнта i -ї групи декомпозиції ($i = 1...6$ – для типового варіанту поділу основних ТТХ даного зразка ОВТ);

$K_{ТДji} = \frac{A_{jik}}{A_{jiE3}}$ – коефіцієнт технічної досконалості зразка ОВТ k -го типу для j -ї ТТХ i -ї групи декомпозиції;

A_{jik} – числове значення j -ї ТТХ, i -ї групи декомпозиції k -го типу зразка ОВТ;

A_{jiE3} – значення j -ї ТТХ, i -ї групи декомпозиції етального зразка.

Значення $K_{ТДk}$ можна розрахувати як з використанням електронно-обчислювальної техніки, так і без її використання. Останнє більш прийнятне у випадку порівняння невеликої кількості (2–3 одиниці) нескладних зразків ОВТ. Програма розрахунку $K_{ТДk}$ практично необмежена в кількості обраних для порівняння зразків ОВТ і розроблена в програмних середовищах Microsoft Office Excel та Mathcad.

Друга складова коефіцієнта ефективності зразка $K_{ТЕР}$ це коефіцієнт відносної вартості – K_B . Визначається як відношення приведенного до курсу року проведення досліджень, вартості (каталожної ціни) етального зразка C_e до вартості (каталожної ціни) досліджуемого зразка в порівняльній валюті C_k . Доцільно використання, при наявності відповідних даних, вартості всього життєвого циклу відібраних зразків ОВТ.

Особливість розрахунку коефіцієнта відносної вартості полягає в тому, що на відміну від інших коефіцієнтів, виходячи із принципу «чим менше – тим краще», в чисельнику відображається чисельне значення вартості етального зразка. Розрахунок коефіцієнта відносної вартості K_{Bk} k -го зразка ОВТ проводиться згідно виразу:

$$K_{Bk} = \frac{C_e}{C_k}, \quad (2)$$

де C_e – приведена до курсу року, в якому проводиться дослідження, вартість (каталожна ціна) етального зразка;

C_k – вартість (каталожна ціна) досліджуемого зразка в порівняльній валюті.

Третьою складовою комплексної багатокритеріальної оцінки зразків ОВТ є їх коефіцієнт запасу ресурсу $K_{ЗР}$. Визначається як відношення запасу ресурсу (терміну придатності) до кінця експлуатації (капітального ремонту) досліджуемого зразка T_k до аналогічного показника етального зразка T_e . Розраховується для k -го зразка ОВТ за формулою:

$$K_{ЗРk} = \frac{T_k}{T_e}, \quad (3)$$

де T_k – запасу ресурсу до кінця експлуатації (капітального ремонту) досліджуемого зразка;

T_e – запасу ресурсу етального зразка.

Ступінь впливу зазначених коефіцієнтів, а саме технічної досконалості $K_{ТД}$, відносної вартості K_B та запасу ресурсу $K_{ЗР}$ на узагальнений коефіцієнт техніко-економічного рівня зразка $K_{ТЕР}$ не однакові. Як показала практика досліджень, врахування різного ступеню впливу можливо за допомогою вагових коефіцієнтів, що отримуються за результатами експертного опитування відповідних фахівців. В публікації використані попередні значення вагових коефіцієнтів 0,5 для $K_{ТД}$, 0,3 для K_B і 0,2 для $K_{ЗР}$. Тобто, узагальнений коефіцієнт техніко-економічного рівня досліджуваних зразків в порівнянні з етальним зразком, в зв'язку з різним характером його складових рекомендується розраховувати на основі інтегрального показника нормованих коефіцієнтів технічної досконалості, відносних значень вартості та запасу ресурсу.

Згідно запропонованої методики [3] чисельне значення $K_{ТЕР}$ можна розрахувати, використовуючи досить просту та наглядну геометричну інтерпретацію. Якщо за значеннями 3-х вказаних нормованих коефіцієнтів $K_{ТД}$, K_B і $K_{ЗР}$ побудувати площинну пелюсткову діаграму та з'єднати кінці векторів $0,5K_{ТД}$, $0,3K_B$ і $0,2K_{ЗР}$, то задача знаходження коефіцієнта $K_{ТЕР}$, як інтегрального показника, зводиться до знаходження площі простої геометрич-

ної фігури, в даному випадку трикутника за відомими значеннями його бісектрис. Чим більша площа вказаного трикутника, тим більше чисельне значення $K_{\text{ТЕР}}$. Таке абстрактне уявлення повністю дозволяє зробити адекватну порівняльну оцінку військово-технічного рівня однотипних зразків озброєння та військової техніки.

Для порівняльної оцінки технічного рівня зразків ОБТ, в залежності від завдань досліджень, формується перелік відібраних для аналізу зразків, так звана «вибірка зразків ОБТ» та визначається еталонний зразок. В якості еталонного зразка може бути використаний будь-який зразок із вибірки зразків ОБТ. Рекомендується в якості еталонного зразка використовувати новітні закордонні зразки-аналоги, ТТХ яких відомі досліднику. Для обраного еталонного зразка коефіцієнт технічної досконалості приймається рівним одиниці ($K_{\text{Где}} = 1,0$).

Перелік зразків БСМ, що були включені до вибірки в цьому дослідженні, країна виробник та рік прийняття на озброєння приведені в табл. 1. Слід відмітити, що всі ці машини створені на базі серійних колісних броньованих машин (за виключенням МТ-ЛБС) для евакуації поранених з переднього краю бою і надання першої медичної допомоги.

Dingo 2 AC Ambulanz – санітарна модифікація броньованого автомобіля Dingo 2 Allschutz-Transport-Fahrzeug, створена на повнопривідному шасі Unimog і здатна долати важкопрохідну місцевість, а також є аеротранспортальною. Виробництво фірми Krauss-Maffei Wegmann (ФРН), знаходиться на озброєнні в арміях Німеччини, Бельгії, Чехії, Австрії. В даному дослідженні визначена в якості еталонного зразка.

Російський варіант БСМ «Лінза» створений на шасі K53949 «Тайфун» 4Х4, має двомісну кабінку і санітарний відсік, що вміщує чотири людини лежачи або шість осіб у сидячому положенні. Можливий комбінований варіант – двоє лежачи і троє сидячі. Автомобіль виготовлений Акціонерним товариством «РЕМДИЗЕЛЬ». Із всіх розглянутих БММ «Лінза» є самою новою. Поставки у війська почалися у 2021 році.

Санітарний варіант Eagle V – створений на базі броньованого автомобіля MOWAG Eagle V 4x4, має екіпаж, що складається з водія, другого водія/командира та двох медпрацівників. Двоє носії розташовуються по бортах, між ними є простір для медперсоналу, одні носії можна замінити трьома місцями для сидячих пацієнтів. Виробництво фірми General Dynamics European Land Combat Systems-MOWAG (Швейцарія). Знаходиться на озброєнні в арміях Швейцарії, Німеччини, Данії.

Didgori Medevac – створений на базі броньованого автомобіля Didgori, санітарний варіант має екіпаж, що складається з водія, лікаря і санітара, розрахований на чотири лежачих поранених. Didgori Medevac є чисто медичною машиною і в ній лікар може надати пораненому

до приїзду в госпіталь медичну допомогу, може бути підключена спеціальна медична апаратура. Виробництво фірми Науково-технічний центр «Дельта» (Грузія). Знаходиться на озброєнні в арміях Грузії і Саудівської Аравії.

Санітарний варіант Oshkosh M-ATV – створений на базі середнього бойового тактичного броньованого автомобіля високої прохідності Oshkosh, який відрізняється від базової моделі великим простором усередині салону, де можливо розмістити двоє носії пораненими. Виробництво фірми Oshkosh Defense (США). Знаходиться на озброєнні в арміях Польщі, ОАЕ, Угорщини, Румунії.

МТ-ЛБС – створена на базі МТ-ЛБ у 2014-2015 роках. Збільшена висота десантного відсіку забезпечує розміщення в машині поранених на носіях у два яруси. Для вивантаження і завантаження поранених встановлене обладнання оригінальної конструкції для переміщення носії через задні двері тягача. У кормовій частині машини встановлена лебідка з електроприводом, тросом якої можна витягати поранених або постраждалих із важкодоступних зон або тих, що перебувають під вогнем. Виробництво фірми ТОВ «Науково-виробнича компанія «ВК Система» (Україна). Перебуває на озброєнні ЗС України.

Програма розрахунку створювалась на базі наявної програми комплексної порівняльної оцінки бойових колісних броньованих машин тактичного класу шляхом коригування переліку найбільш інформативних некорельованих між собою характеристик і їх впливу на загальну інтегральну оцінку. Таким чином, було відібрано 18 тактичних і технічних параметрів, що повністю характеризують можливості даної техніки. Як вказано вище, в цьому дослідженні по причині відсутності матеріалу не враховано вклад оснащення розглянутих машин медичним обладнанням. Цей недолік деякою мірою може бути компенсований тим, що для машин даного призначення воно буде приблизно однаковим.

Відповідно до використаної методики відібрані ТТХ розбиті на 5 груп декомпозицій: показники носія, тобто самого автомобіля (шасі); засобів цільового призначення; засобів розвідки (практично відсутні, за виключенням камер кругового огляду); засобів захисту; засобів управління і зв'язку.

Для визначення вихідних даних були використані всі доступні джерела інформації і в першу чергу матеріал з мережі інтернет [7–12]. Значення вартості зразків в деяких випадках носить оціночний характер.

В результаті розрахунків були одержані значення коефіцієнтів технічної досконалості $K_{\text{ТД}}$ і його складових, а також складових та самих коефіцієнтів техніко-економічного рівня $K_{\text{ТЕР}}$ для всіх розглянутих зразків БСМ. Одержані результати приведені в табл. 2.

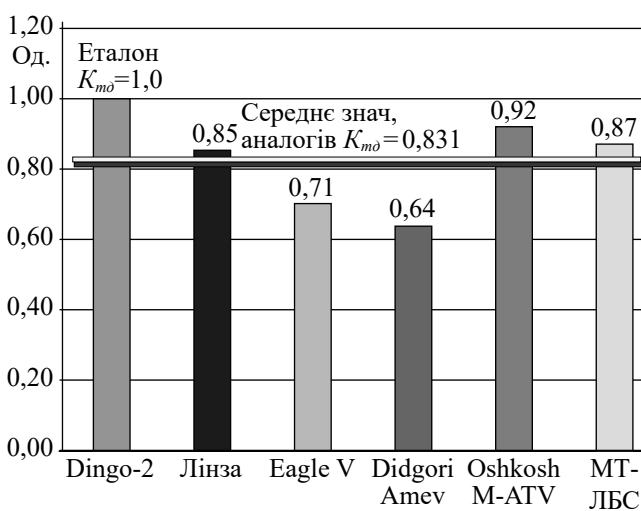
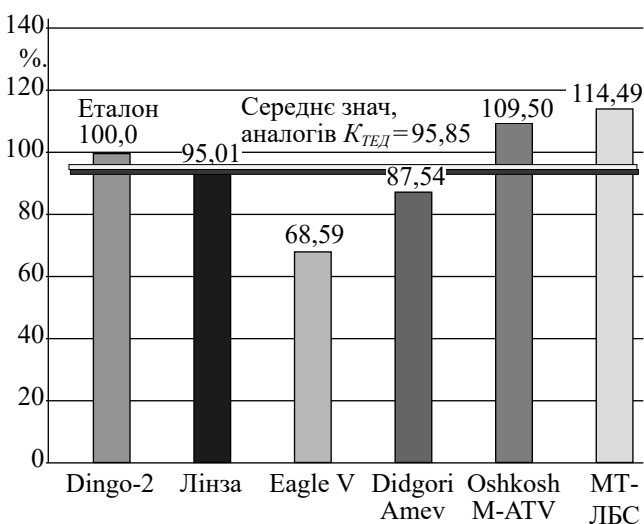
Таблиця 1

Тип автомобіля	Dingo-2	Лінза	Eagle V	Didgori Amev	Oshkosh M-ATV	МТ-ЛБС
Країна виробник	Німеччина	росія	Швейцарія	Грузія	США	Україна
Рік прийняття на озброєння	2003	2021	2015	2014	2014	2017

Таблиця 2

Тип автомобіля	Dingo-2	Лінза	Eagle V	Didgori Amev	Oshkosh M-ATV	MT-ЛБС
Коефіцієнт K_{TD}	1,000	0,854	0,705	0,638	0,875	0,871
Коефіцієнт K_{TD} в %	100,0	85,4	70,5	63,8	87,5	87,1
Коефіцієнт K_B	1,000	1,111	0,857	1,333	1,091	2,069
Коефіцієнт $K_{ЗР}$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,200	0,400
Узагальнений коефіцієнт K_{TEP}	0,134	0,128	0,092	0,118	0,147	0,154
Узагальнений коефіцієнт K_{TEP} , %	100,00	95,01	68,59	87,54	109,50	114,49

Порівняльна оцінка шести розглянутих в публікації зразків за коефіцієнтом K_{TD} приведена на рис. 1, а за коефіцієнтом K_{TEP} на рис 2.

Рис. 1. Коефіцієнт технічної досконалості K_{TD} БСМРис. 2. Коефіцієнт техніко-економічного рівня K_{TEP} БСМ

Результати досліджень надають можливість зробити наступні висновки.

ВИСНОВКИ

Отже, мету статті досягнуто. На практиці застосовано методику порівняльної тактико-техніко-економічної

оцінки зразків ОБТ на прикладі оцінки спеціалізованих зразків військової автомобільної техніки – броньованих санітарних машин. Отримано нові результати порівняльної оцінки цих машин, що мають науково-прикладну цінність.

Українська БСМ МТ-ЛБС створена шляхом модернізації зі зміною призначення існуючого серійного зразка МТ-ЛБ, але його технічний рівень, судячи з коефіцієнту K_{TD} , не поступається ні машині країни-агресора, ні більшості закордонних аналогів. Сильними сторонами даної машини є висока прохідність, на відміну від інших зразків – плавучість та велике корисне навантаження і об'єм медичного відсіку.

З урахуванням цінової складової і ресурсних показників, МТ-ЛБС, незважаючи на значно менший ресурс, через використання гусеничного рушія, за рахунок значно меншої ціни, взагалі виходить за показником техніко-економічного рівня K_{TEP} на лідируючі позиції серед машин даного класу.

Технічний рівень (без урахування спеціального медичного обладнання) російської БСМ «Лінза» (рис. 1) знаходиться на рівні кращих світових зразків аналогічного призначення і це не дивно. Машина створювалася в останні роки з широким використанням при виробництві ліцензійних вузлів і агрегатів і врахуванням в ній досвіду конструювання провідних закордонних виробників аналогічної техніки

Таким чином, використання розробленої в ЦНДІ ОБТ Збройних Сил України методики комплексної оцінки техніко-економічних показників зразків озброєння та військової техніки дає можливість на кількісному рівні порівняти будь-які однотипні зразки між собою, виявити можливі їх переваги і недоліки та окреслити шляхи подальшого удосконалення. Використання цієї методики дозволяє оцінити технічний рівень вітчизняних зразків ОБТ та відповідність їх світовому рівню розвитку техніки даного виду. Методика може бути корисна при формуванні тактико-технічних вимог до нових перспективних чи модернізованих зразків ОБТ.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.autocentre.ua/kommercheskie/voennaya-tehnika/vozlesum-zahvachen-novejshij-sanitarnyj-broneavtomobil-okkupantov-1390832.html>.
- [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.depo.ua/rus/war/vid-bogdaniv-do-btriv-yaka-medichna-bronetekhnika-e-u-rozporjadzhenni-zsu-202102091282374>.

3. Нор П.І., Борохвостов І.В. Методика комплексної порівняльної оцінки зразків озброєння та військової техніки. Озброєння та військова техніка. 2016. № 3(11). С. 14–18.
4. Нор П.І., Кручинін С.В., Мельник О.Д., Єфіменко В.А. Методика оцінки технічного рівня зразків озброєння та військової техніки. Зб. наук. пр. Київ: ЦНДІ ОБТ ЗСУ. 2009. Вип. 22. С. 74–82.
5. Єфіменко В.А., Нор П.І., Гупало А.Ю. Основні технічні показники оцінки ефективності парків озброєння та військової техніки збройних сил. Зб. наук. пр. Київ: ЦНДІ ОБТ ЗСУ. 2012. Вип. 22. С. 87–98.
6. Нор П.І., Павленко А.Г., Горський О.М. Методика оцінки технічного рівня зразків озброєння та військової техніки. Тр. ун-ту. Київ: НУОУ. 2012. Вип. 3(109). С. 188–194.
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://roe.ru/catalog/sukhoputnye-vosyka/bronirovannye-avtomobili/linza>.
8. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://armyinform.com.ua/2022/04/01/pid-chas-boyiv-na-sumshhyni-nashi-voyiny-zahopyly-u-rosiyan-trofej-najnovishyj-sanitarnyj-broneavtomobil-linza>.
9. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.army-guide.com/rus/article/article_3458.html.
10. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Oshkosh_L-ATV.
11. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.army-guide.com/rus/product2135>.
12. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bmpd.livejournal.com/Didgori-2>.
7. Available at: <http://roe.ru/catalog/sukhoputnye-vosyka/bronirovannye-avtomobili/linza>.
8. Available at: <https://armyinform.com.ua/2022/04/01/pid-chas-boyiv-na-sumshhyni-nashi-voyiny-zahopyly-u-rosiyan-trofej-najnovishyj-sanitarnyj-broneavtomobil-linza>.
9. Available at: http://www.army-guide.com/rus/article/article_3458.html.
10. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Oshkosh_L-ATV.
11. Available at: <https://www.army-guide.com/rus/product2135>.
12. Available at: <http://www.bmpd.livejournal.com/Didgori-2>.

REFERENCES

1. Available at: <https://www.autocentre.ua/kommercheskie/voennaya-tehnika/vozle-sum-zahvachen-novejshij-sanitarnyj-broneavtomobil-okkupantov-1390832.html>.
2. Available at: <https://www.depo.ua/rus/war/vid-bogdaniv-dobriv-yaka-medichna-bronetekhnika-e-u-rozporiadzhennizsu-202102091282374.zsu-202102091282374>.
3. Nor, P.I. & Borokhvostov, I.V. (2016). "Metodyka kompleksnoi porivnialnoi otsinky zrazkiv ozbroennia ta viiskovoi tekhniki" [Methods for assessing the technical level of samples of weapons and military equipment], Weapons and military equipment. № 3(11). Pp. 14–18.
4. Nor, P.I., Kruchinin, S.V., Melnyk, O.D. & Efimenko, V.A. (2009). "Metodyka otsinky tekhnichnogo rivnia zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki" [Methods for assessing the technical level of samples of weapons and military equipment]. Proc. of CRI of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine. № 22. Pp. 74–82.
5. Yefimenko, V.A., Nor, P.I. & Gupalo, A.Yu. (2009). "Osnovni tekhnichni pokaznyky ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki zbroinyh syl" [The main technical indicators for assessing the effectiveness of armaments and military equipment of the armed forces]. Proc. of CRI of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine. № 22. Pp. 188–194.
6. Nor, P.I., Pavlenko, A.G. & Gorsky, O.M. (2012). "Metodyka otsinky tekhnichnogo rivnia zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki" [Methods for assessing the technical level of samples of weapons and military equipment]. Proc. of the NDU of Ukraine. № 3(109). Pp. 87–98.
7. Available at: <http://roe.ru/catalog/sukhoputnye-vosyka/bronirovannye-avtomobili/linza>.
8. Available at: <https://armyinform.com.ua/2022/04/01/pid-chas-boyiv-na-sumshhyni-nashi-voyiny-zahopyly-u-rosiyan-trofej-najnovishyj-sanitarnyj-broneavtomobil-linza>.
9. Available at: http://www.army-guide.com/rus/article/article_3458.html.
10. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Oshkosh_L-ATV.
11. Available at: <https://www.army-guide.com/rus/product2135>.
12. Available at: <http://www.bmpd.livejournal.com/Didgori-2>.

Nor P., Hrebenyk O., Sharapa V., Pochernin S.

ASSESSMENT OF TECHNICAL AND ECONOMIC LEVEL OF SPECIALIZED SAMPLES OF MILITARY AUTOMOTIVE EQUIPMENT

A comprehensive comparative assessment of weapons and military equipment samples on the example of modern armored medical vehicles of the leading edge, adopted for medical troops of the Armed Forces of Ukraine and other countries, including trophy samples of Russia obtained during the fighting in spring 2022 is presented in paper. In this case, it is a Russian protected ambulance «Lens», created several years ago on the basis of the chassis KAMAZ-53949 «Typhoon-K».

For the sake of correctness, the fleet of armored medical vehicles is limited exclusively to cars built on the basis of relatively light tactical wheeled armored combat vehicles. The only exception is the model of the Ukrainian armored medical vehicle MT-LBS, which was created by upgrading the serial armored personnel carrier. In this publication, in addition to these two samples, the 4 most common foreign analogues are considered. It is shown that the project proposed by Research and Production Company «VK Sistema» has every chance of success, taking into account the needs of the carriers MT-LB, as well as the manufacturer's capabilities.

The assessment was performed using the method of complex comparative assessment of technical and economic indicators of the same type of weapons and military equipment, developed at the Central Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine. The use of this method allows to make a technical and economic comparative assessment of two or more samples of weapons, as well as to determine the technical level of domestic samples of weapons and their compliance with the world level of technology of this type. The method can be useful in the formation of tactical and technical requirements for new or upgraded models of weapons and military equipment.

Keywords: armament and military equipment, military vehicles, armored ambulances, technical and economic level, tactical and technical characteristics.

Відомості про авторів:

Нор Петро Іванович

кандидат технічних наук

старший науковий співробітник

провідний науковий співробітник науково-дослідного

управління воєнно-технічної політики Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5387-0093>
e-mail: norpetro@gmail.com

Гребеник Олександр Миколайович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу розвитку озброєння та військової техніки загального призначення Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1595-6967>
e-mail: grom_75@ukr.net

Шарапа Володимир Вікторович

начальник науково-дослідної лабораторії розвитку наземних роботизованих комплексів (систем) науково-дослідного відділу розвитку озброєння та військової техніки загального призначення 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/0000-0003-1233-7666>
e-mail: sharapa1983@gmail.com

Почернін Сергій Петрович

старший науковий співробітник науково-дослідного відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна

Information about the authors:

Petro Nor

Candidate of Technical Sciences
Senior researcher
Leading Researcher of Research Department of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5387-0093>
e-mail: norpetro@gmail.com

Oleksandr Hrebenyk

Candidate of Technical Sciences
Senior researcher
Head of the Research Department of Armament and Military Equipment of General Purpose of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1595-6967>
e-mail: grom_75@ukr.net

Volodymyr Sharapa

Head of the Research Laboratory of Ground Robotic Complexes (Systems) Development of the Research Department of the Development of Armament and Military Equipment of General Purpose Research Department of Development of Armament and Military Equipment of the Land Forces of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1233-7666>
e-mail: sharapa1983@gmail.com

Serhii Pochernin

Senior Researcher of Research Division of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine

UDC 623.462.532.582.82:533.6.07

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.4\(36\).35-44](https://doi.org/1034169/2414-0651.2021.4(36).35-44)**I. V. ZVERSHKHOVSKY**, *Candidate of Technical Sciences*<https://orcid.org/0000-0002-5262-5382>*(State Enterprise «State Kyiv Design Bureau "LUCH"», Kyiv)***M. V. ZIRKA**, *Candidate of Technical Sciences*<http://orcid.org/0000-0003-2915-3011>e-mail: zirkamaria23@gmail.com**O. B. KUCHYNSKA**<https://orcid.org/0000-0003-3403-4180>*(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)*

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CONSTRUCTING A MISSILE'S CONTROL SYSTEM WITH COMPLEXING COORDINATORS IN THE PRESENCE OF FUNCTIONAL CONNECTION BETWEEN THEM AND MUTUAL CORRECTION

In the article the authors present the characteristic technological aspects of the construction of anti-aircraft (anti-ship) missile control systems with a control system that functions on the basis of the integration of various types of coordinators. It is shown that the presence of a functional connection between coordinators in a complex guidance system allows to expand the range of accuracy capabilities of the homing system in a certain way.

For this purpose, the structure of the command generation device, which ensures the operation of the integrated guidance system with two meters, should include such functionally necessary elements as: a switching device with a delay device; device for decoupling the circuit transfer coefficient from the current kinematic value of the speed.

It was also concluded that when an external disturbance is acting on the radio technical coordinator, which by its nature is equivalent to the action of an obstacle leading by speed, it is necessary to extrapolate the current values of the angular speed of the line of sight and the relative speed of approach in the control system.

Keywords: *integrated guidance system, command generation device, integration of radio technical and optical coordinators.*

The results of the authors' studies given in [1], along with the results of a large number of other publications [1, 4, 9, 10] confirm the high efficiency of combining coordinators of different physical nature in the control system of a homing missile.

However, the control system, in which the optical coordinator is introduced in the absence of a functional connection with the radio technical coordinator, has limited capabilities when exposed to interference from the radio and radiant ranges, as well as due to the peculiarities of constructing the optical coordinator (lack of information about the current kinematic value of the approach velocity $\dot{r}_l$). Such a coordinator does not provide the required dynamic properties of the system, as in this case does not stabilize the navigation constant (N), in addition, there is no possibility to extrapolate the current coordinate values, which is also a disadvantage. The task of increasing the dynamic accuracy of the system and expanding its capabilities can be solved by using a higher level: combining a radio technical coordinator with autonomous coordinators in the presence of a functional connection between them and mutual correction. In this case, it becomes possible to use extrapolators.

The scheme corresponding to this level of integration is shown in Fig. 1.

The block diagram of the control system includes the following main elements: a complex meter, a device for generating control commands, an «autopilot-missile» system, and a kinematic link. The purpose and role of the last two elements are known [2].

Let us consider the structure of the complex meter in more detail. In the general case, a complex meter has in its structure n coordinators of different physical nature, principles of construction and having their own advantages and disadvantages.

In each case, the structure of a complex meter can be a combination of coordinators of different types:

- radio engineering (active, semi-active);
- radio engineering (passive);
- optical;
- infrared;
- laser;
- television;
- inertial meters, etc.

In the general case, the functional connection between the coordinators in order to introduce initial conditions, implement mutual correction and transmit missing information is carried out through a computing device with a transfer function ($W_i(p)$).

The task of the complex meter circuit is to maximize the use of the positive properties of a particular meter. Each specific combination determines the task and circuit design of the computing device. In the general case, the mathematical description of a homing system with a complex meter can be represented as [3]

$$\Delta \varepsilon_l = f(\eta_l^*, \varepsilon_l^*, \dots) - f(\eta_l, \varepsilon_l, \dots). \quad (1)$$

$$\text{Kinematic equations} \begin{cases} \dot{r}_l = V_l \cos(\theta_l - \varepsilon_l) - V_p \cos(\theta_p - \varepsilon_l) \\ r \dot{\varepsilon}_l = V_l \sin(\theta_l - \varepsilon_l) - V_p \sin(\theta_p - \varepsilon_l) \end{cases} \quad (2)$$

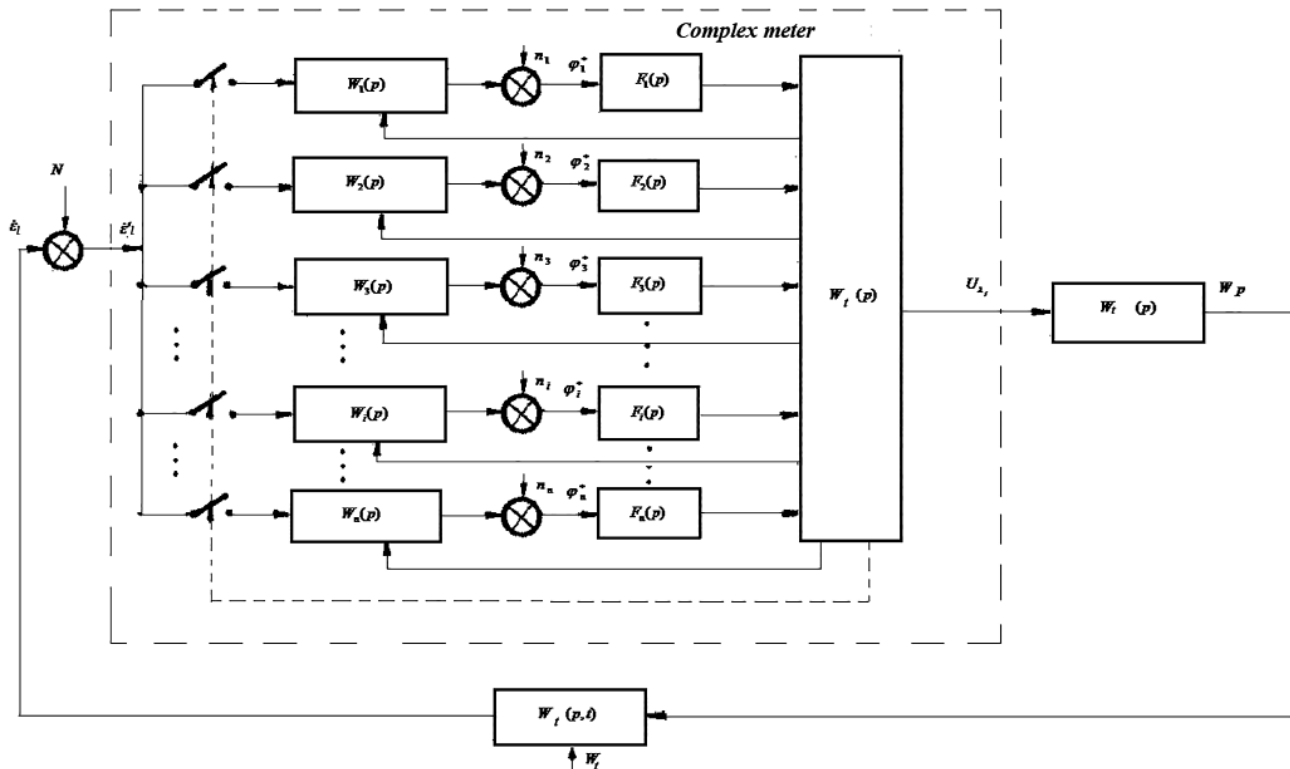


Fig. 1. General block diagram of a control system with integration of coordinators in the presence of a functional connection between them

perform the relationship between the parameters of missile motion and the parameters of target position in space.

The dynamic properties of the autopilot are described by the equation that defines its composition and structure and is the equation of the law of deflection of the missile's controls

$$\delta = \delta(\Delta \varepsilon_l, V_p, \theta_p, \vartheta, \alpha, r_l, \varepsilon_l). \quad (3)$$

The dynamic properties of a missile as a control object are described by the following system of equations (for movement in a vertical plane)

$$\begin{cases} \ddot{\vartheta} + a_{11}\dot{\vartheta} + a'_{12}\dot{\alpha} + a_{12}\alpha = -a'_{13}\delta_b - a_{13}\delta_b \\ \dot{\theta} - a_{42}\alpha = a_{43}\delta_b \\ \vartheta = \theta + \alpha \end{cases} \quad (4)$$

Dynamic coefficients a_{jk} , included in the system of equations (4) are related to the aerodynamic and structural parameters of the missile.

The transfer function of the complex gauge in general form is

$$W_{cg}(p) = \sum_{i=1}^n W_j(p). \quad (5)$$

Control command at the output of the computing device

$$\lambda_i(p) = \left| \sum_{i=1}^n W_j(p) \right| \varepsilon_l^*(p). \quad (6)$$

Consider a complex meter composed of a combination of two coordinators with transfer functions $W_1(p)$ and $W_2(p)$. All other coordinators, for one reason or another, do not measure coordinates (switches $K_3 - K_n$ are open).

Based on the general structure, the scheme of the integrated guidance system with a complex meter in this case takes the form (Fig. 2).

We consider that the filter parameters $F_1(p)$ and $F_2(p)$ are known, the internal noise of the meters themselves is small. Based on the scheme obtained and the conclusion about the need for information about $\dot{r}_l$, it is possible to build a functional diagram of a homing circuit with a radio-technical coordinator and an optical coordinator in the presence of a functional link between them.

These schemes have a significant difference: from the moment of transition (switching) to the optical coordinator in the fourth level scheme, information is measured both on the angular velocity of the line of sight and on the relative velocity of approach of the missile to the target. The need for measurement $\dot{r}_l$ was proved in the previous chapter.

Since the initial homing system with a radio-technical coordinator measures, this information can be used to feed commands to the device for stabilizing the navigation constant of the loop and improving its dynamics [5, 6]. Taking these provisions into account, the functional diagram of the homing system with a complex meter takes the form (Fig. 3).

In addition to the noted possibility of coefficient stabilization N there appears the possibility of mutual correction of the positions of the optical axes of both coordinators. During the operation of the radio technical coordinator, a signal proportional to $\dot{\varepsilon}_l$, is also fed to the input of the optical coordinator drive (correction device), carrying out the forced orientation of the optical coordinator in the direction of the target.

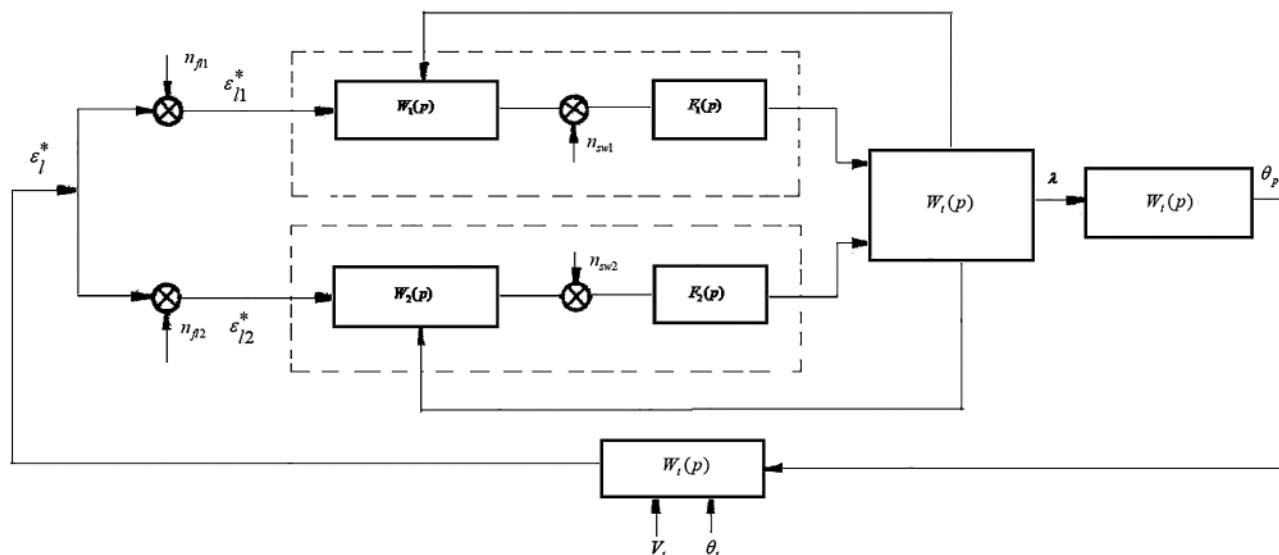


Fig. 2. Complex meter composed of a combination of two coordinators with transfer functions $W_1(p)$ and $W_2(p)$

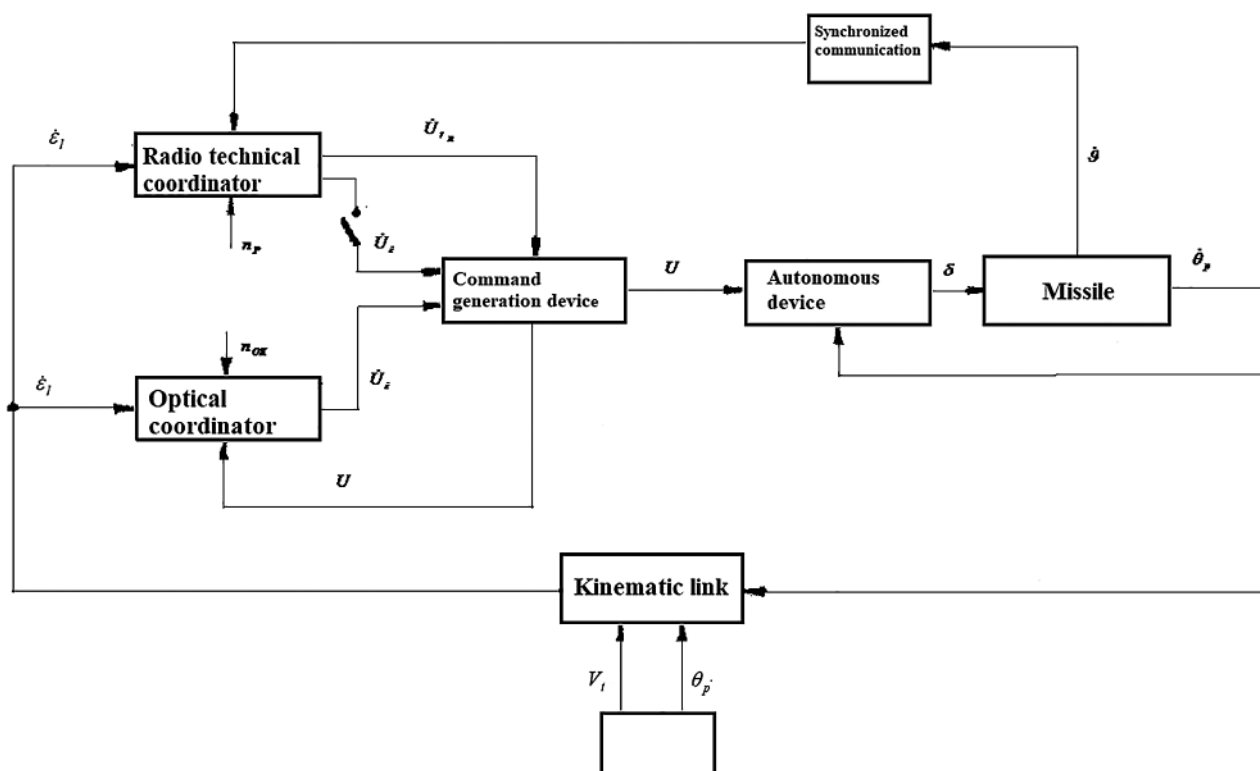


Fig. 3. Functional diagram of a homing system with a complex meter

In the same way, the orientation of the radio technical coordinator according to the signals of the optical coordinator can be carried out. The layout of the homing circuit with coordinators operating in complex mode and interlinked with each other is shown in Fig. 4.

Analysis of the quality of control of the complexing system of guidance with a radio technical coordinator and an optical coordinator in the presence of a functional connection between them

On the basis of the obtained structure, a scheme of the electronic model with a radio coordinator and an optical coordinator in the presence of a functional connection between them was built. In the process of modeling, at the

stage of operation of the optical coordinator, the information for formation of the control command λ came from two meters in a complex way: from the optical coordinator $\hat{\varepsilon}_l$ and from $\dot{r}_l$ the radio coordinator.

Thus, continuous stabilization of the gain of the circuit (N) was carried out. The study of the quality of control of the integrated guidance system was conducted on a computer in the following sequence.

At the first stage, the behavior of the system during pointing to a non-maneuvering target was investigated qualitatively for the conditions: $\text{km}, \varepsilon_{l_0} = 15^\circ, \theta_0 = 25^\circ$. The coordinators were switched at a range to the target in the range of $r_{lr} = 14 \div 2 \text{ km}$ in succession over two kilometers.

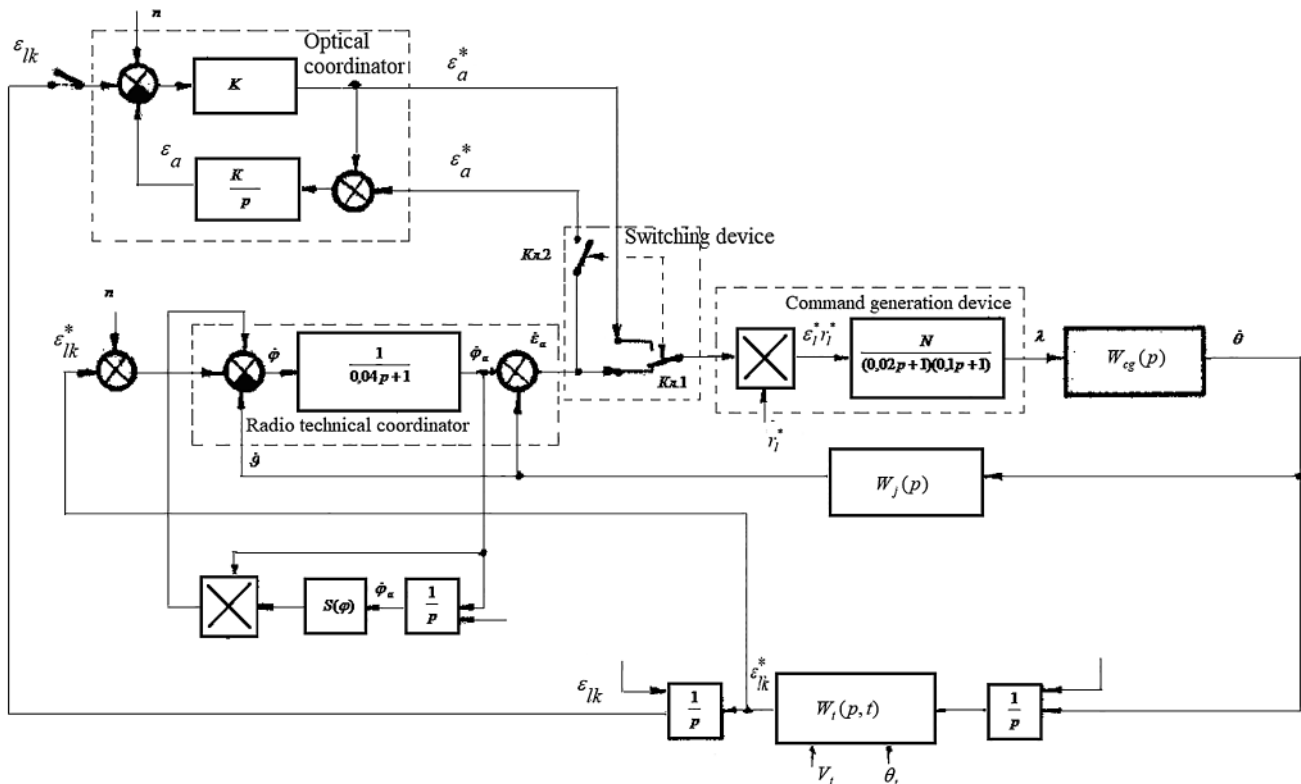


Fig. 4. A structural diagram of a homing circuit with radio and optical coordinators operating in a complex mode and united by a functional link

Oscillograms of deterministic transients are shown in Fig. 5.

The dependences of changes in the angular velocity of the line of sight $\dot{\varepsilon}_l$, the normal acceleration of the missile W_p and the control command λ on the range of gauge switching were taken. When the coordinators were switched, an

additional transient process occurred in the system (a spike on the oscillogram of changes in the control command value).

Analysis of deterministic processes showed that the presence of this transient process affects the magnitude of the miss, depending on the switching range. At a distance of

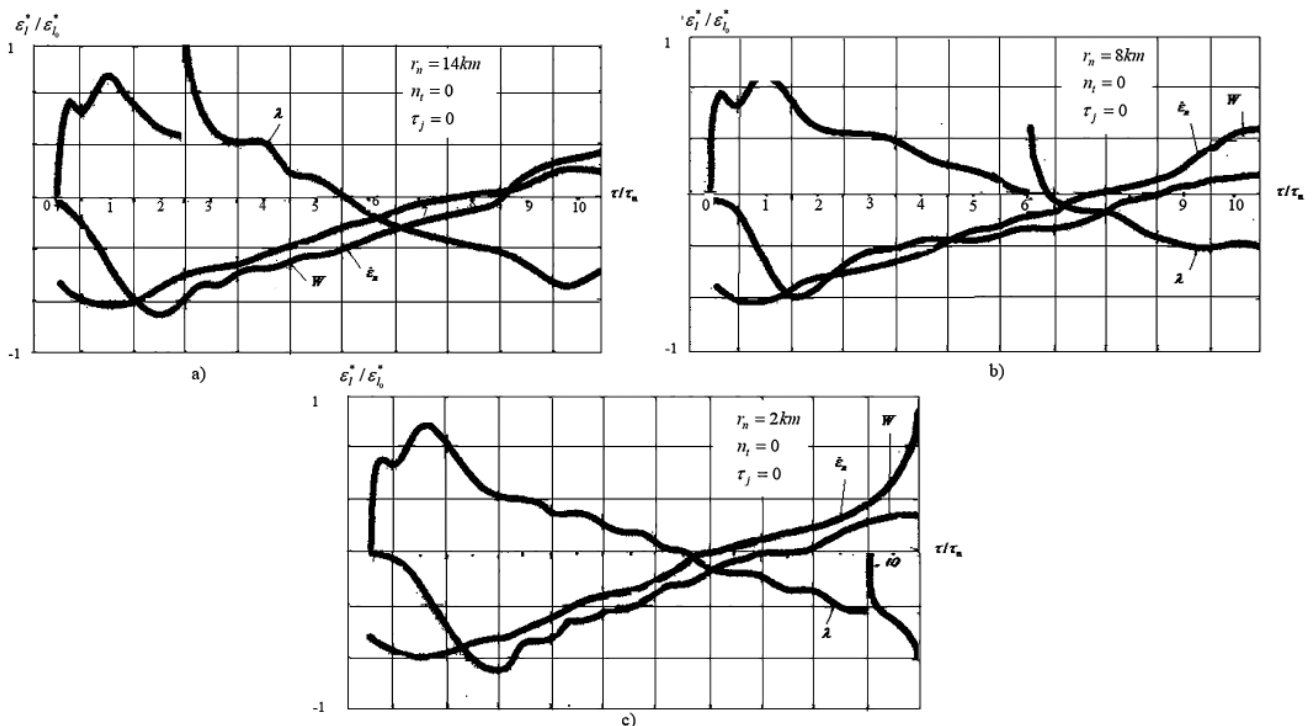


Fig. 5. Oscillograms of deterministic transients

Table 1. System simulation results for the case of a maneuvering target

№	V_p (m/s)	V_t (knot)	t_M (s)	η^0	$r_{lr} = 14$ km		12 km		10 km		8 km		6 km		4 km		2 km	
					P	$h[m]$	P	$h[m]$	P	$h[m]$	P	$h[m]$	P	$h[m]$	P	$h[m]$	P	$h[m]$
1	720	20	3	35	0,99	13,2	0,99	13,5	0,95	14	0,90	19,5	0,88	20	0,85	22,5	0,80	25
2	680	20	5	75	0,99	8,0	0,99	8,0	0,99	8,5	0,98	14,5	0,95	15	0,94	15,5	0,92	17
3	660	20	7	95	1,0	7,5	1,0	8,0	1,0	9	0,99	14	0,98	14,5	0,96	15	0,95	16
4	670	20	11	130	1,0	7,5	1,0	10,0	1,0	13	1,0	15	0,99	16	0,99	17,5	0,98	18
5	720	35	3	25	0,97	14	0,90	16	0,87	17	0,75	20	0,68	25	0,63	30	0,58	35
6	680	35	5	30	0,98	12,5	0,97	14	0,93	15	0,90	19	0,88	21	0,86	23	0,84	25
7	660	35	7	35	1,0	11,5	1,0	13	0,99	14,5	0,98	15	0,97	17	0,95	19	0,92	20
8	720	35	11	40	1,0	9,0	1,0	11	1,0	12	0,99	13,5	0,98	14,5	0,97	15	0,95	17

$r_{lr} = 14 \div 10$ km, switching did not have a significant effect on the pointing accuracy, however, starting from $r_{lr} = 10 \div 8$ km, a deterioration in the accuracy of the system was observed, increasing with a decrease in r_l .

The dependence of the accuracy on the switching range was most pronounced when noise was fed to the control system input and during target maneuvering. The results of system simulation for a maneuvering target with $n_{t \max} = 3g$, $V_t = 20$ knots; 35 knots for switching ranges of $r_{lr} = 14, 12, 10, 8, 6, 4, 2$ km, respectively, are shown in Table 1.

Graphs of the change in the value of the dynamic component of the miss and the integral laws of the distribution of misses depending on the switching distance of the coordinators are shown in Fig. 6.

At a distance of 8 km or less significant errors also began to have errors due to the fairing of the radio technical coordinator.

During the study, the system was subjected to the influence of an external disturbing effect equivalent to continuous

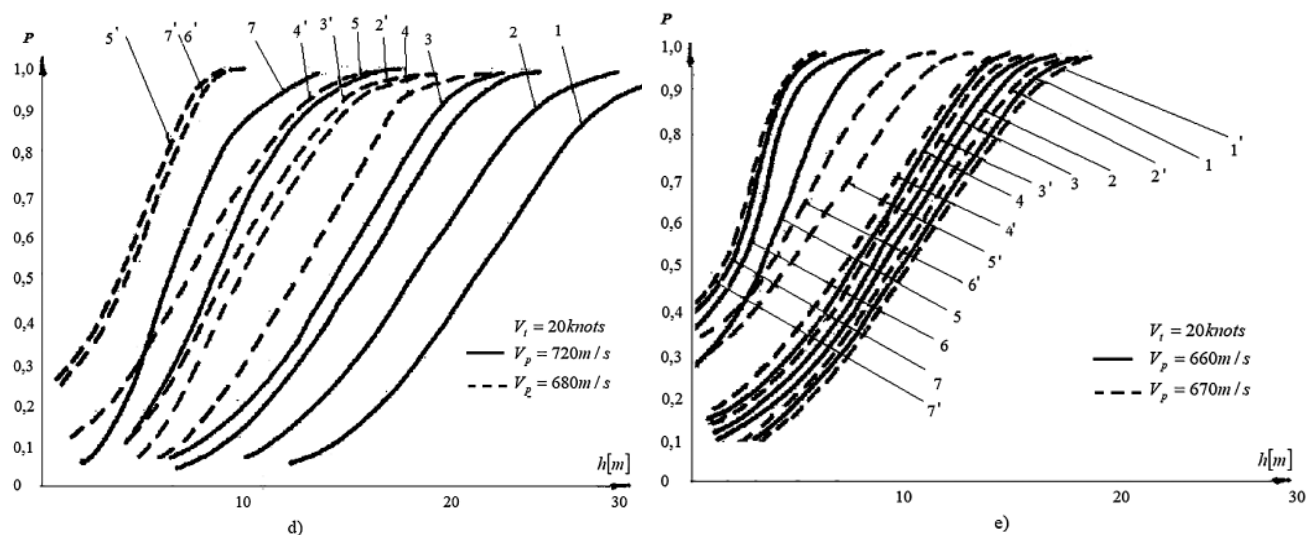
noise radio interference (the noise level at the input of the radio technical coordinator increased by 2.5 ... 3 times). The influence of the impact stopped when the coordinators were switched and the optical coordinator quite confidently captured the target.

Only when switching to a range of $r_{lr} = 6 \div 2$ km did the effect of interference begin to have a serious impact (the dynamic component of the miss increased by 1.3 ... 1.5 times).

It follows from the results obtained that, in general, the dynamic accuracy of the system was higher than in the previous cases.

An additional transient process has a rather serious effect on the dynamic accuracy of the complex system. In this connection, it is advisable to switch coordinators at a range of $r_{lr} = 6 \div 2$ km from the target. This task should be solved by the command generation device.

Development of a command issuing device structure to ensure the operation of complex homing systems with two sensors

Fig. 6. Graphs of changes in the value of the dynamic component of the miss h

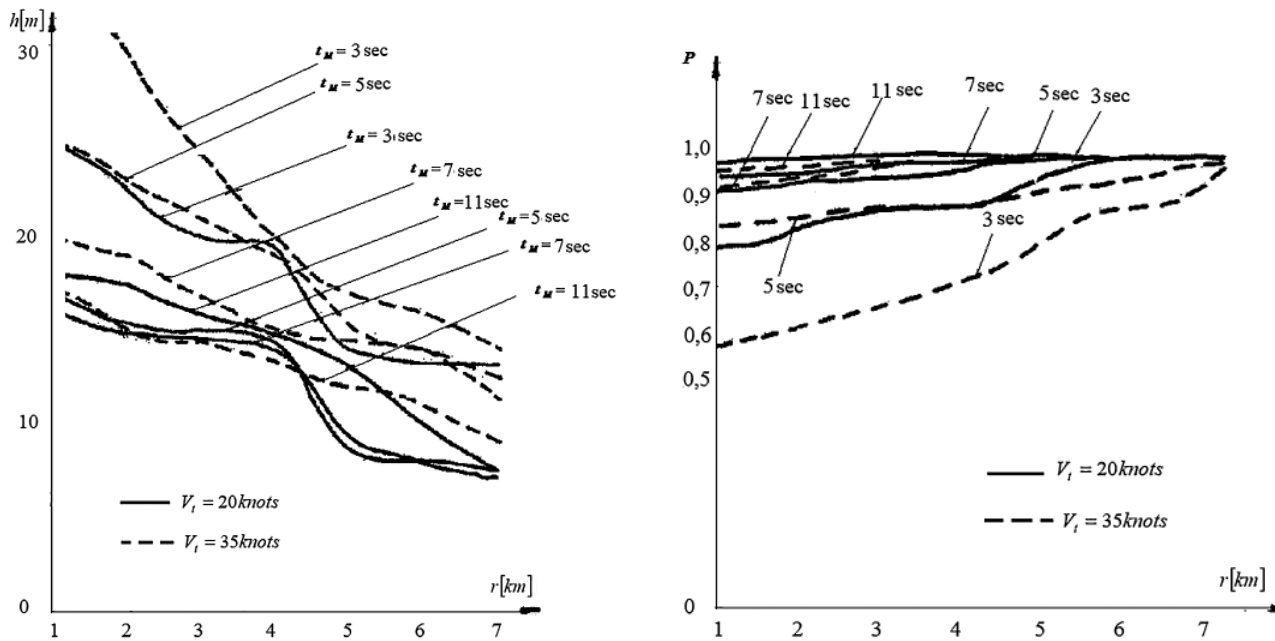


Fig. 7. Graphs of the integral laws of the distribution of misses depending on the switching distance of the coordinators

Command issuing device for a complex homing system with two sensors (radio and optical coordinators) if there is a functional link between them shall ensure:

- switching of coordinators depending on homing conditions;
- decoupling of the loop gain (navigation constant) from the relative velocity of the missile approaching the target
- formation of a control command according to the guidance method and control method.

In general, the structure of such a command generation device looks like (Fig. 8) and consists of three main elements:

- a switching device;
- a device that performs decoupling of the transmission coefficient;
- a device for filtering the signal.

The presence of additional auxiliary devices is also possible.

The influence of the last two elements is known [2]. The formation of the command in them is carried out by the general laws. It is of interest to select the type of a switching device, which provides guidance of the missile during the work of two gauges with functional linkage. The choice of the switching device structure was performed based on modeling of the proposed system.

When analyzing the control quality of the complex guidance system with a radio-technical coordinator and an optical coordinator in the previous paragraph, we pointed out the presence of an additional transient process (outlier) that occurs when the coordinators are switched. This outlier had an impact on the dynamics of the complex guidance system, especially from the switching range $r_{lr} = 10 \div 8$ km.

From the obtained results we can see that in order to ensure the normal transient process in the system it is necessary to implement a delay in switching. The structure of the switching device in this case will have the form shown in Fig. 9.

By the method of mathematical modeling, a study of the complex induction system for different switching modes was carried out (Fig. 10). The moment of coordinator switching was carried out with some time delay τ_3 .

First, the behavior of the system was studied qualitatively in terms of the nature of deterministic transient processes. When noise was applied to the inputs of the meters, the assessment of the accuracy characteristics of missile guidance to the target was carried out by determining the statistical distribution of the miss over forty model implementations at the optimal $r_{lr} = 10$ km.

The delay value was initially chosen sequentially from 1 s to 0.01 s. However, a quantitative study of the complexation

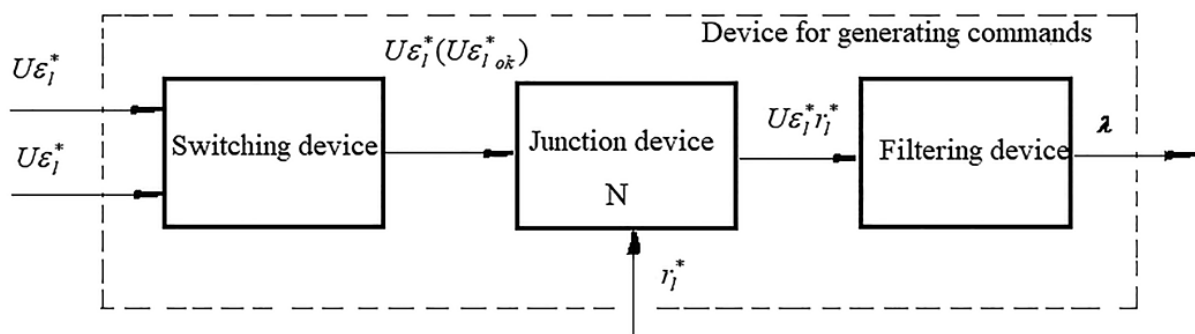


Fig. 8: General view of the structure of the control command generator

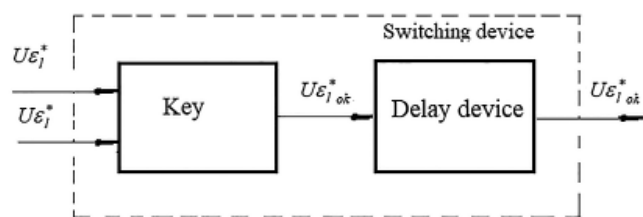


Fig. 9. Structure of the switching device

of the guidance system was carried out in the range $\tau_3 = 0 \div 0,5$ s, because above this range, the introduction of a delay led to a sharp deterioration in the accuracy characteristics (oscillograms in Fig. 11).

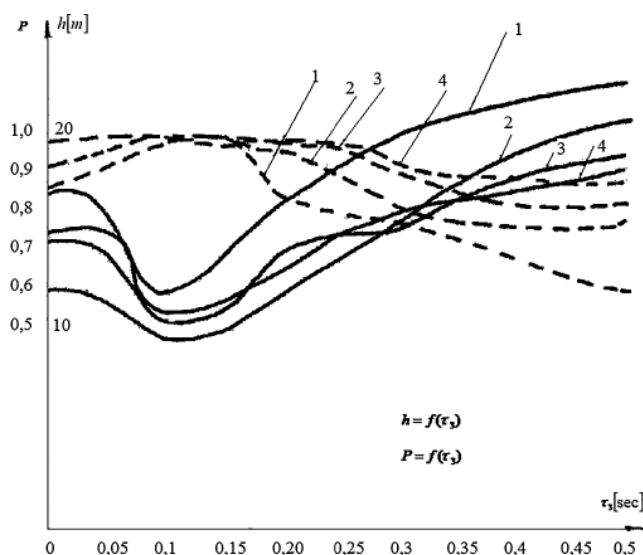


Fig. 10. Study of the complexation of the guidance system for various switching modes

The simulation results are given in Table. 2. In Fig. 12, 13 are graphs of the dependence of the change in the probability of defeat and the dynamic component of a miss on the value of the time delay τ_3 (curve designations according to Table 2).

It can be seen from the obtained results that in order to ensure a normal transient process in the circuit, it is necessary to delay the switching of coordinators in the range $\tau_3 = 0,08 \div 0,15$ s, which is optimal from the point of view of obtaining the greatest gain in dynamic pointing accuracy.

In this case, the structure of the command generation device that provides missile guidance to the target has the

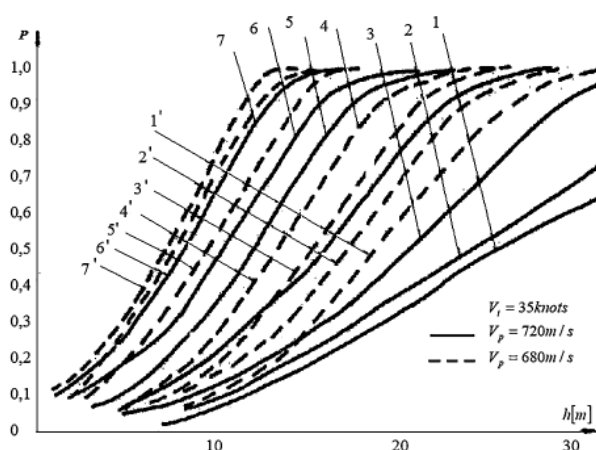
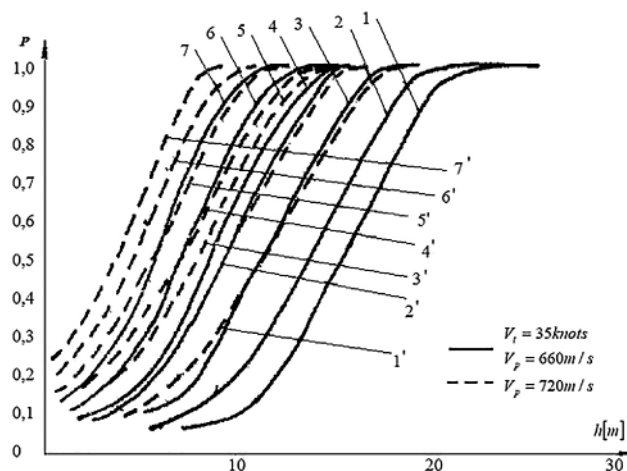
Fig. 11. Oscillograms of a quantitative study of the complexation of the guidance system in the range $\tau_3 = 0,5$ s

Fig. 12. Graphs of the dependence of the change in the probability of defeat and the dynamic component of a miss on the value of the time delay (designation of the curves according to Table 2)

form (Fig. 13). This scheme of the command generation device has one significant drawback.

To decouple the transmission coefficient of the complexing guidance system, information is needed about $\dot{r}_{lk}$, which in such a homing system can be obtained from the radio technical coordinator.

Under the action of an external disturbance on the radio coordinator, equivalent in its influence to the action of a

Table 2. Results of quantitative modeling of the complexation of the guidance system

№	V_p (m/s)	V_i (knot)	t_M (s)	η^0	$\tau_3 = 0$		$\tau_3 = 0,05s$		$\tau_3 = 0,1s$		$\tau_3 = 0,2s$		$\tau_3 = 0,25s$		$\tau_3 = 0,3s$		$\tau_3 = 0,5s$	
					P	h[m]	P	h[m]	P	h[m]	P	h[m]	P	h[m]	P	h[m]	P	h[m]
1	720	35	3	25	0,87	17	0,93	16	0,99	12	0,85	17	0,8	18,5	0,75	20	0,6	22,5
2	680	35	5	80	0,93	15	0,97	14,5	1,0	11	0,96	13	0,9	15	0,82	16	0,78	20,5
3	660	35	7	35	0,99	14,5	1,0	14,0	1,0	10,5	0,98	14	0,95	14,5	0,9	16	0,83	19
4	720	35	11	40	1,0	12	1,0	11,5	1,0	9,5	0,99	12	0,97	13,5	0,93	15	0,89	18,5

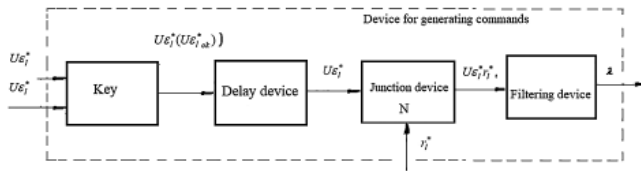


Fig. 13. The structure of the command generation device that provides missile guidance to the target

speed-stealing interference, the circuit does not meet the guidance requirements, since information about the relative approach velocity and the angular velocity of the line of sight is largely distorted.

To ensure the required conditions for missile guidance in this case, it is necessary to extrapolate the values $\dot{r}_{lk}$, $\dot{\epsilon}_{lk}$ which can be achieved through the use of an extrapolator (computing corrective device) on board (Fig. 14).

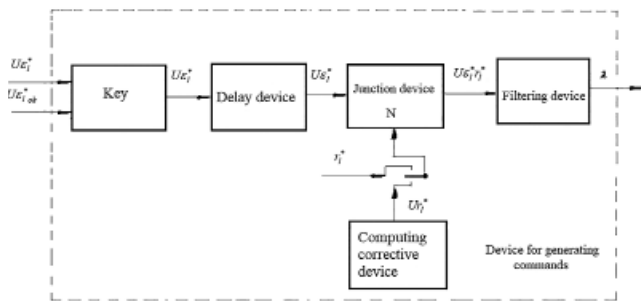


Fig. 14. Structural diagram with the use of an extrapolator (computing corrective device) on board

Development of a block diagram of a missile control system with a computational corrective device

In the general case, the task of the computational corrective device is to solve the equations of the relative motion of the missile and the target in order to obtain the current values of the angular velocity of the line of sight and the relative velocity of approach.

The equation for the relative motion of the missile and the target has the form

$$\ddot{\epsilon}_{lk} = -\frac{2\dot{r}_{lk}}{r_{lk}}\dot{\epsilon}_{lk} + \frac{1}{r_{lk}}(W_t - W_p). \quad (7)$$

When exposed to a radio coordinator of an external disturbance, which is equivalent in nature to a noise that leads away in speed, information about the kinematic value of the angular velocity of the line of sight is greatly distorted.

According to certain signs, indicating the effect of a disturbance, the radio coordinator must be turned off, and the missile must be controlled according to the information issued by the computing corrective device when it solves the equation

$$\ddot{\epsilon}_{lp} = -\frac{2\dot{r}_{lp}}{r_{lp}}\dot{\epsilon}_{lp} + \frac{1}{r_{lp}}(W_{tn} - W_{pac}), \quad (8)$$

where $\ddot{\epsilon}_{lp}$, r_{lp} , W_{tn} – instrumental values of angular velocity of line of sight, relative approach velocity, and target normal acceleration, respectively; W_{pac} – measured value of missile normal acceleration.

The structure of the computational correction device corresponding to equation (8) is presented on Fig. 15.

The operation of this device with such a structure is as follows

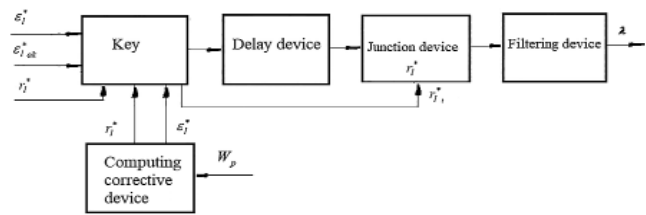


Fig. 15. The structure of the computing corrective device

At the moment of launch, the initial value of the range and the angle of inclination of the line of sight $\epsilon_{l_{0s}}$ is fixed on the memory device of the computing corrective device. In the process of pointing, the current range $\dot{r}_T$ is calculated from the value of the relative approach speed $\dot{r}_k$ given by the radio technical coordinator. In the absence of information from the radio technical coordinator, the current range is calculated by the value of $r_{l_{0s}}$. The scheme for the formation of the instrumental range has the form (Fig. 16).

Prior to the beginning of an external disturbance, the correction of the value $\dot{r}_{ln}$ by the antenna value $\dot{\epsilon}_{la}$ must be ensured. The correction stops when the disturbance (interference) starts.

At this moment, information about the intended value of the normal acceleration of the missile W_{pac} (measured by a separate meter) should be sent to the computing corrective device [7, 8]. The instrumental value of angular velocity $\dot{r}_{ln}$ from the computational correcting device is fed to the command generating device to form the control command λ .

When calculating the structure, matching of the computational correcting device with the real kinematics is ensured by choosing the appropriate coefficient (matching coefficient). The current range $\dot{r}_T$ in the computational correcting device is calculated by the following formula

$$r_T = r_0 + \int_0^t \dot{r}_i dt. \quad (9)$$

Since the current velocity value is calculated with an error or is taken from its initial value r_{l_0} in order to ensure the performance of the computing correction device, it is necessary to introduce a range integration factor into dependence (9). In this case, the instrumental realization of dependence (9) will look like

$$r_T = r_0 + K_r \int_0^t \dot{r}_i dt + K_r \int_{t_1}^t \dot{r}_{ln} dt, \quad (10)$$

where $K_r \leq 1$ – range integration coefficient; r_i – current kinematic value of approaching speed; $\dot{r}_{ln}$ – instrumental value of approaching speed.

Taking into account the features associated with extrapolation of current coordinate values, the structural diagram of the complex pointing system with integrated radio-technical coordinator, optical coordinator and computing correction device in the presence of a functional connection between them is shown in Fig. 17.

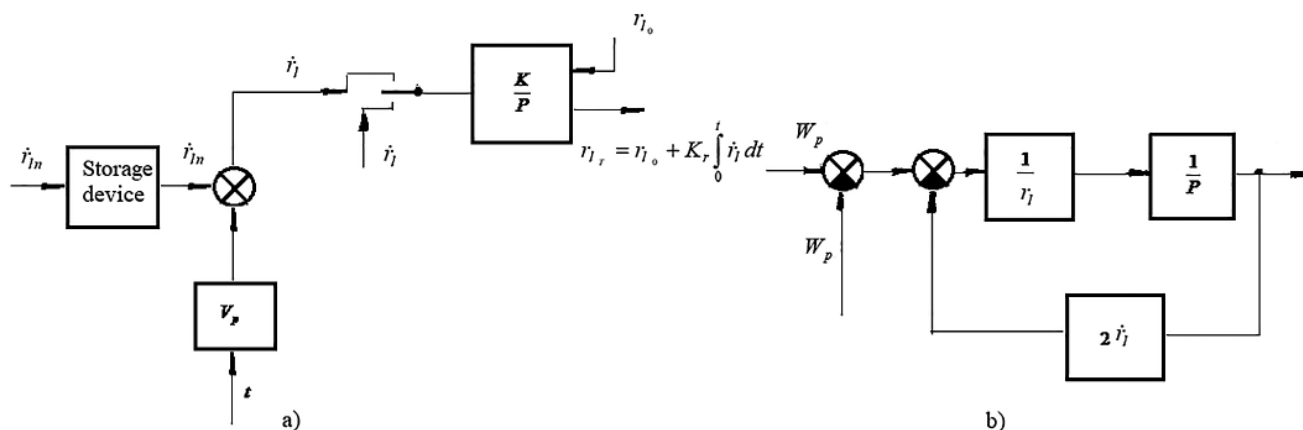


Fig. 16. Scheme of the formation of the instrumental range

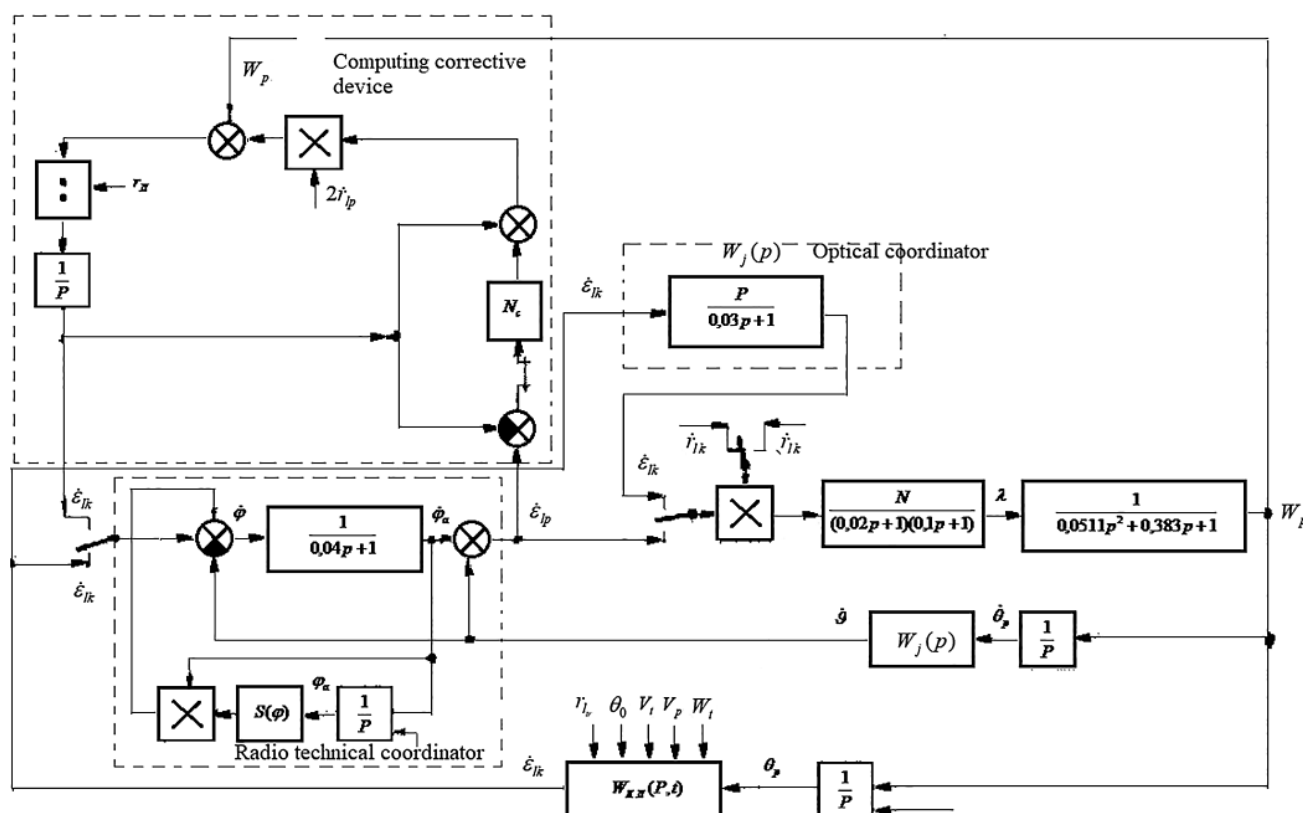


Fig. 17. Block diagram of the complex pointing system with integrated radio-technical coordinator, optical coordinator and computational correction device in the presence of functional connection between them

CONCLUSIONS

1. The presence of a functional link between the coordinators in the complex guidance system allows a certain expansion of the range of precision capabilities of the homing system. A computer analysis of the control quality of the complex homing system with a radio-technical coordinator and an optical coordinator in the presence of a functional link between them confirms this assumption.

2. The negative effect on the loop dynamics has an additional transient process that occurs when switching coordinators. In this regard, switching coordinators should be carried out at a range no closer than 8 km to the meeting point.

3. Time delay introduced at the moment of coordinators switching in order to eliminate the influence of the transient process should have the value $\tau_3 = 0,08 \div 0,15$ s.

4. The structure of the command issuing device, providing the operation of the complex pointing system with two meters, must include such functionally necessary elements as:

- a switching device with a delay device;
- a decoupling device of the loop transmission coefficient from the current kinematic value of the approaching velocity.

5. When the radio-technical coordinator is affected by an external perturbation, equivalent in its nature to the action of a velocity-evading noise, the control system must extrapolate the current values of the angular velocity of the line of sight and the relative velocity of convergence.

6. Extrapolation of the values of $\dot{\epsilon}_i$ and $\dot{r}_i$ must be carried out with the help of a computational corrective device introduced into the structure of the complex guidance system.

REFERENCES

1. Zvershkhovskiy, I.V., Zirka, M.V., Petushkov, V.V. & Kuchynska, O.B. (2022). Tekhnolohycheskye aspekty postroeniia system upravleniia raket s koordynatorom, rabotaiushchym v radyolokatsyonnom dyapazone. Ozbroyeniia ta viiskova tekhnika. № 1(33). Pp. 62–69.
2. Lebedev, A.A. (1985). Statysticheskaia dynamika i opytymizatsiia upravleniia letatelnykh apparatov. Uchebnyk. Mashynostroenie. 280 p.
3. Krynetskyi, E.Y. (1970). Systemy samonavedeniia. Mashynostroenie. 236 p.
4. Lapytskyi, S.V. & Chepikov, I.B. Osnovy voenno-tekhnicheskikh issledovani. Teoriia i prylozheniia : monografiia : v 4 t. T. 4. Metodolohiia issledovaniia slozhnykh system voennogo naznachenii; pod red. S.V. Lapytskoho. K.: Izdatelskyi dom Dmytriia Buraho. 2013. 480 p.
5. Aiupov, V.V. (2017). Matematycheskoe modelirovanie tekhnicheskikh system. Uchebnoe posobyie. Perm: Prokrost. Pp. 11–17.
6. Shakharyn, B.I. (2000). Sluchaini protsessy v radiotekhnike. Tsykl lektzii. M.: Radio i sviaz. 584 p.
7. Arkhangel'skiy, I.I., Afanasev, P.P., Holubev, I.S. & Svetlov, V.H. Proektyrovanie zenitnykh upravliaemykh raket. Uchebnyk. Pod red. Holubeva I.S., Svetlova V.H. M.: Izdvo MAI. 2001. 732 p.
8. Poveisyla, D., Roven, R. & Uoterman, P. (1964). Bortovi radiolokatsiini systemy. (Perevod s anhl). Voenizdat.
9. Pupkov, K.A., Ehupov, N.D., Kolesnikov, L.V., Melnykov, D.V. & Trofymov, A.I. (2011). Vysokotochni systemy samonavedeniia: raschet i proektirovanie. Vychyslytelnyi eksperyment. M.: Fizmatlit. 512 p.
10. Tolpehin, O.A. & Petrova, I.L. (2011). Matematicheskie modeli system navedeniia letatelnykh apparatov. Uchebnoe posobyie. Kolomna: Kolomenskyi inst. (filial) Moskovskogo gosud. otkrytoho un-tu. 112 p.

**Звершховський І.В., Зірка М.В.,
Кучинська О.Б.**

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РАКЕТИ З КОМПЛЕКСУВАННЯМ КООРДИНАТОРІВ ПРИ НАЯВНОСТІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ НИМИ ТА ВЗАЄМНОЇ КОРЕКЦІЇ

В статті авторами представлено характерні технологічні аспекти побудови систем управління протиповітряних (протикорабельних) ракет з системою управління, що функціонує на базі комплексування координаторів різного типу. Показано, що наявність функціонального зв'язку між координаторами в комплексованій системі наведення дозволяє певним чином розширити діапазон точностних можливостей системи самонаведення. З цієї метою структура пристрою вироблення команд, який забезпечує роботу комплексованої системи наведення з двома вимірювачами, повинна включати в себе такі функціонально необхідні елементи, як: перемикаючий пристрій із пристроєм затримки; пристрій розв'язки коефіцієнта передачі контуру від поточного кінематичного значення швидкості.

Також зроблено висновок, що при дії на радіотехнічний координатор зовнішнього збурення, за своїм характером еквівалентного дії перешкоди, що веде за швидкістю, в системі управління необхідно здійснювати екстраполяцію поточних значень кутової швидкості лінії візування і відносної швидкості зближення.

Ключові слова: комплексована система наведення, пристрій вироблення команд, комплексування радіотехнічних та оптичних координаторів.

Відомості про авторів:

Звершховський Ігор Всеволодович

кандидат технічних наук
начальник комплексного конструкторського відділу Державного підприємства «Державне Київське конструкторське бюро «Луч»»
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5262-5382>

Зірка Марія Василівна

кандидат технічних наук
молодший науковий співробітник науково-дослідного відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<http://orcid.org/0000-0003-2915-3011>

Кучинська Оксана Борисівна

начальник науково-інформаційного відділу 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

Information about the authors:

Zvershkhovskiy Igor

Candidate of Technical Sciences
Chief of Complex Design-Engineering Department of the State Enterprise «State Kyiv Design Bureau “Luch”»
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5262-5382>

Zirka Mariya

Candidate of Technical Sciences, Researcher of Research Department of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0003-2915-3011>

Kuchynska Oksana

Chief of Scientific-Information Department 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

УДК 623.4.018

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4\(36\).45-48](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).45-48)

О. Ф. ПОЛЕГЕНЬКО, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0001-7834-1057>

А. О. ГАВРИЛЮК

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

МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО СКОРОЧЕННЯ ОБСЯГУ ПЕРЕВІРОК ПРИ ПРОВЕДЕННІ ВИПРОБУВАНЬ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ

Викладені передумови проведення скорочених випробувань. Зазначені основні принципи розробки системи скорочених випробувань тактичних і оперативно-тактичних ракетних комплексів Сухопутних військ та методики їх проведення. Визначені основні підходи, що можуть забезпечити істотне скорочення матеріальних, фінансових ресурсів і часових витрат при проведенні випробувань. Зокрема пропонується оптимізувати кількість дослідів за рахунок застосування найбільш прогресивних, економічно обґрунтованих методів їх проведення та використовувати емпіричну інформацію про аналогічні вироби.

Ключові слова: система скорочених випробувань, ракетні комплекси, методика, дослідний зразок, критерій.

ВСТУП

Важливим фактором зміцнення обороноздатності держави в умовах збройної агресії з боку російської федерації є забезпечення Збройних Сил України сучасним ракетним озброєнням. Скорочення термінів проведення випробувань є нагальною сьогоденною задачею та потребує розроблення певного науково-методичного апарату [1].

Під системою скорочених випробувань тактичних ракетних комплексів (ТРК) і оперативно-тактичних ракетних комплексів (ОТРК) Сухопутних військ (СВ) пропонується вважати сукупність інтегрованих і регулярно взаємодіючих або взаємозалежних елементів (об'єктів випробувань, засобів, методів і видів випробувань, а також виконавців і т. п.), що забезпечують необхідну якість скорочених випробувань (СкВ).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відомо, що загальними вимогами до випробувань є їх якісне проведення та, за їх результатами, доопрацювання дослідного зразка (ДЗ) в задані терміни при обмежених витратах ресурсів. Зазначене, а також наявний досвід оцінки якості функціонування, строків та вартості випробувань і доробок озброєння являються основою для вибору доцільного критерію ефективності випробувань.

Зазвичай, напрямок оптимізації кількості дослідів для підтвердження вимог за призначенням при проведенні державних випробувань ракетних комплексів сухопутних військ визначається у відповідності до обраного критерію ефективності проведення випробувань. Таким критерієм ефективності проведення випробувань найбільш доцільно обирати найменшу вартість при визначеному обсязі проведення перевірок на випробуваннях (в такому випадку випробування можуть проходити неприпустимо довгий час) або при визначеній вартості і часі випробувань мінімально необхідний обсяг випробувань, який дозволяє отримати дані про відповідність отриманих характеристик заданим в тактико-технічному завданні (ТТЗ) вимогам із заданим рівнем достовірності [2, 3].

З огляду на зазначений критерій ефективності державні випробування мають передбачати застосування найбільш прогресивних, економічно обґрунтованих методів їх проведення з використанням результатів теоретичних і експериментальних досліджень зі створення дослідного зразка, моделювання процесів випробувань для найбільш ефективної та достовірної оцінки його відповідності вимогам ТТЗ і методам прискорених випробувань (в технічно обґрунтованих випадках) при проведенні тривалих випробувань [4].

Одним із факторів забезпечення скорочення обсягу випробувань є поява сучасних засобів вимірювань та обробки інформації. Зазначене дозволяє суттєво підвищити ефективність випробування за рахунок скорочення часу та підвищення точності і достовірності вимірювань.

Важливим аспектом зазначеного фактора є поява можливості застосування сучасних методів моделювання швидкоплинних та коштовних процесів функціонування дослідних зразків. Наприклад, таких властивостей, що потребують завдання руйнівних впливів на ДЗ або експериментів, що потребують великого числа повторень (наприклад оцінка міцності, протимінної та протиккульної стійкості ДЗ або набір статистичних даних при оцінці точностних показників стрільби).

Наступним напрямком забезпечення скорочення обсягу перевірок, що виносяться на державні випробування, є застосування певних організаційних заходів, суть яких полягає в аналізі результатів попередніх випробувань на основі протоколів перевірок, акту попередніх випробувань та інших матеріалів випробувань (довідок, розрахунків, висновків, заключень і т. ін.). За результатами проведеного аналізу державною комісією з проведення державних випробувань може прийматися рішення про залік результатів певних окремих перевірок, проведених під час попередніх випробувань як результати перевірок, що виносяться на державні випробування. Зазвичай, як показує досвід, такий підхід доцільно застосовувати при перевірці вимог, заданих ТТЗ до показників ергономічності, технічної естетики, вимог до сировини, матеріалів та комплектуючих, з яких виготовляється дослідний зразок [5].

До певного скорочення обсягу перевірок може призводити і застосування підходу, суть якого полягає у можливості об'єднання та врахування результатів перевірок, що проводяться як під час попередніх, так і під час державних випробувань. Це, зазвичай, стосується випро-

бувань, які потребують значних статистичних даних для підтвердження заданих вимог, наприклад, щодо точності влучення, показників безвідмовності, ремонтпридатності, зберігаємості, довговічності [6].

Вказані підходи дозволяють оптимізувати і значно скоротити обсяг перевірок ДЗ, що виносяться на державні випробування і, таким чином, зменшити терміни проведення випробувань та кількість необхідних матеріальних і фінансових ресурсів для забезпечення їх проведення.

У разі якщо ДЗ (або його складові), що розробляється (модернізується) має вже існуючі за функціональним призначенням і будовою (конструкцією) аналоги, а головний розробник певний досвід розробки, можна застосувати методологію проведення скорочених за обсягом перевірок випробувань, суть якої полягає у використанні апріорної інформації [7]. При цьому за апріорну інформацію приймається наявна емпірична інформація (з достатніми обсягом і якістю) про зразок-аналог, який прийнятий на озброєння і експлуатується в частинах і підрозділах ЗС і може бути взятий за прототип для аналізу.

З метою вироблення і обґрунтування підходів до скорочення матеріальних, фінансових і часових витрат при проведенні випробувань необхідне проведення подальших досліджень, які дозволять визначити можливість і доцільність їх застосування для забезпечення СкВ. Методологічною основою розробки методик СкВ можуть слугувати результати проведеного дослідження питань розробки ТРК і ОТРК СВ і їх випробувань. Визначено, що в даний час широко застосовується практика використання в ДЗ (їх складових) ТРК і ОТРК СВ елементів (блоків), які раніше використовувалися в аналогічних виробках, що вже стоять на озброєнні і експлуатуються тривалий час [7]. Такими елементами-аналогами може виступати широкий спектр виробів: окремі елементи конструкцій, такі як транспортно-пусковий контейнер, транспортно-пусковий пристрій, пристрій заряджання, системи очищення повітря, самохідна пускова установка, шасі в цілому і т. п. Ступінь деталізації і застосовності того або іншого елемента визначається на стадії розробки аванпроекту майбутнього виробу, виходячи з широкого переліку вимог і відповідності даного елемента цій вимозі [7]. Важливим чинником, що визначає використання конкретного елемента, є його модернізаційний потенціал. Елементи, що використовувалися в існуючих зразках-аналогах та використовуються при розробці нових зразків ТРК і ОТРК СВ, мають необхідні обсяг і якість емпіричної інформації, отриманої як на стадіях розробки, так і на стадіях виробництва і експлуатації. Ця емпірична інформація може бути використана в цілях зменшення ступеня невизначеності інформації про дослідні зразки ТРК і ОТРК СВ і приймається як апріорна. Визначення можливості використання її як апріорної інформації обґрунтовано за рахунок декомпозиції дослідного зразка ТРК і ОТРК СВ і прототипу, а також їх аналізу. Застосування апріорної інформації можливо у разі встановлення відповідності дослідного зразка ТРК і ОТРК СВ виробу, про який відома повна інформація щодо властивостей, тобто визначення можливого ступеня їх подібності. При реалізації

такого підходу, за апріорну інформацію приймають наявну емпіричну інформацію про зразки ТРК і ОТРК СВ, які знаходяться або раніше знаходилися на озброєнні і по яким в достатній кількості є статистична інформація за всіма стадіями життєвого циклу. Зразки, що мають певну схожість з дослідним зразком ТРК і ОТРК СВ по сукупності кількісно-якісних характеристик і конструктивних параметрів, а також по яким є достатній обсяг і якість емпіричної інформації, визначаються як прототипи [7].

Вибір можливого прототипу здійснюється на підставі аналізу визначеної сукупності зразків ТРК і ОТРК СВ. Підставою для розгляду деякого зразка (їх сукупності) як прототипу ДЗ є певна близькість показників і параметрів. Причому необхідно зазначити, що визначення можливого прототипу може проводитися як послідовно, починаючи з аналізу дослідного зразка ТРК і ОТРК СВ, так і паралельно з одночасним аналізом ДЗ і можливого прототипу (сукупності прототипів), що є найбільш доцільним і повинне передбачатися при плануванні експериментів.

Знаходження можливої сукупності прототипів ДЗ (елементів дослідного зразка) або окремого прототипу істотно звужує перелік досліджуваних зразків ТРК і ОТРК СВ і дозволяє визначити найбільш «схожі» (схожий) за набором якісних і кількісних характеристик і показників. Визначення можливого прототипу по сукупності оцінюваних параметрів (елементів) побічно вказує на наявність подібних елементів і параметрів у дослідного зразка ТРК і ОТРК СВ. Проте, необхідно зазначити, що наявність цієї інформації не дає підстав її використовувати без перевірки і обґрунтування, оскільки вона не повною мірою визначає всю суть явищ і процесів, що відбуваються в зразках.

Застосування різних методів і способів, направлених на визначення подібності між дослідним зразком ТРК і ОТРК СВ і прототипом, дозволяє отримати достатньо широкий спектр інформації про величини і параметри, що визначають функціонування зразка. В результаті застосування науково-методичного апарату теорії подібності [8, 9] виділяють критерії подібності і функціональну залежність в прототипі і ДЗ, а також перевіряється виконання необхідних і достатніх умов подібності. Отримані результати можуть мати безперечну цінність та бути застосовані при розробці методик СкВ дослідних зразків ТРК і ОТРК СВ. Таким чином, для реалізації розробки методик СкВ пропонується послідовно виконати наступні дії [7]:

- вибір і обґрунтування прототипу дослідного зразка ТРК і ОТРК СВ з існуючої сукупності зразків з метою використання апріорної емпіричної інформації прототипу;
- визначення і перевірка виконання умов подібності між дослідним зразком ТРК і ОТРК СВ і прототипом (визначення критеріїв подібності);
- визначення функціональної залежності між основними параметрами ДЗ;
- визначення констант подібності, що забезпечує проведення скорочених випробувань ТРК і ОТРК СВ.

Послідовне виконання вказаних заходів є елементами структури методичного забезпечення системи СкВ ТРК і ОТРК СВ та дозволяє визначити параметри ДЗ при

скорочених часових і фінансових витратах за рахунок перезаліку апріорної інформації по деяких видах випробувань, а також залучити меншу кількість ДЗ для підтвердження виконання тактико-технічних вимог.

Можна вважати, що безперечним позитивним ефектом від застосування такого підходу є:

- скорочення кількості випробувань;
- зменшення термінів проведення випробувань;
- зменшення кількості зразків, які задіяні до проведення випробування, що у свою чергу призводить до скорочення ресурсних витрат при збереженні якості інформації, яка достатня для ухвалення рішення про дослідний зразок ТРК і ОТРК СВ.

ВИСНОВКИ

Таким чином, у запропонованих матеріалах розглянуті методологічні положення скорочених випробувань ТРК і ОТРК СВ. Вони ґрунтуються на двох основних підходах, суть яких полягає в наступному.

1. В оптимізації кількості дослідів для підтвердження вимог за призначенням із заданим рівнем достовірності при проведенні державних випробувань ТРК ОТРК СВ за рахунок застосування найбільш прогресивних, економічно обґрунтованих методів їх проведення, моделювання процесів випробувань, використання методів прискорених випробувань, об'єднання (суміщення) декількох перевірок при проведенні одного виду випробувань та врахування результатів перевірок, що проводилися під час попередніх випробувань.

2. У використанні емпіричної інформації про аналогічні ДЗ вироби (їх складові частини), що отримана як на стадіях їх розробки, так і на стадіях виробництва і експлуатації цих виробів.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Постанова Кабінету міністрів України “Про затвердження порядку постачання озброєння, військової і спеціальної техніки та боєприпасів під час особливого періоду, введення надзвичайного стану, проведення заходів із забезпечення національної безпеки і оборони, відсічі, стримування збройної агресії та у період проведення антитерористичної операції від 25.07.2015 № 345”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/324-2015>.
2. Испытания опытных образцов изделия. Основные положения. ГОСТ В 15.210-78. М.: Изд-во стандартов. 1987. 35 с.
3. ДСТУ В-П 15.201:2020. Тактико-технічне (технічне) завдання на виконання дослідно-конструкторської роботи. Загальні вимоги до побудови, змісту, викладення, оформлення, видання та коригування. Київ: ДП УкрНДНЦ. 2020. 63 с.
4. ГОСТ В 15.211-78. Порядок разработки программ и методик испытаний опытных образцов изделия. Основные положения. М.: Изд-во стандартов. 1987. 21 с.
5. ДСТУ В-П 15.001:2018. Система розробки і постановки на виробництво озброєння та військової техніки. Основні положення. Київ: ДП УкрНДНЦ. 2019. 6 с.
6. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения. М.: Изд-во стандартов. 1990. 20 с.
7. Гареев М.Ш., Григорьев Р.Е., Подчерзев С.В. Метод сокращения полигонных испытаний опытных образцов вооружения и военной техники на основе использования результатов корреляционного анализа априорной информации. Радиовысотометрия – 2013: Сб. тр. IV Всерос. науч.-техн. конф. Каменск-Уральский. 2013. 440 с.
8. Гурман А.А. Введение в теорию подобия. Уч. пособие для вузов. М.: Высшая школа. 1973. 296 с.
9. Алабужев П.М. Теория подобия и размерностей. Моделирование. Уч. пособие. М.: Высшая школа. 1968. 208 с.

REFERENCES

1. “Postanova Kabinetu ministriv Ukrainy «Pro zatverdzhennia poriadku postachannia ozbroiennia, viiskovoi i spetsialnoi tekhniki ta boieprypasiv pid chas osoblyvogo periodu, vvvedennia nadzvychnainogo stanu, provedennia zahodiv iz zabezpechennia natsionalnoi bezpeky i oborony, vidsichi, strymuvannia zbroinoi agresii ta u period provedennia antyterrorystychnoi operatsii vid 25.07.2015 № 345»” [Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On approval of the procedure for the supply of weapons, military and special equipment and ammunition during a special period, introduction of a state of emergency, implementation of measures to ensure national security and defense, repulse, deter armed aggression and in the period of the anti-terrorist operation dated 25.07.2015 No. 345»]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/324-2015>.
2. “Isipytaniia opytnykh obraztsov izdeliia. Osnovnye polozheniia” [GOST V 15.210-78. Testing of prototypes of the product. Basic provisions], Publishing house of standards. M. 1987. 35 p.
3. “Taktyko-tekhnichne (tekhnichne) zavdannia na vykonannia doslidno-konstruktorskoï roboty. Zagalni vymogy do pobudovy, zmistu, vykladennia, oformlennia, vydannia ta koryguvannia” [DSTU V-P 15.201:2020. Tactical and technical (technical) tasks for the implementation of research and development work. General requirements for construction, content, presentation, design, publication and correction], SE UkrNDNC. K. 2020. 63 p.
4. “Poriadok razrabotki program i metodik ispytaniia opytnykh obraztsov izdeliia. Osnovnye polozheniia” [GOST V 15.211-78. The procedure for developing programs and methods for testing prototypes of the product. Basic provisions], Publishing house of standards. M. 1987. 21 p.
5. “Systema rozrobky i postanovky na vyrobnytstvo ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki. Osnovni polozhennia” [DSTU V-P 15.001:2018. The system of development and production of weapons and military equipment. Substantive provisions], SE UkrNDNC. K. 2019. 6 p.
6. “Nadezhnost v tekhnike. Osnovnye poniatia, terminy i opredeleniia” [GOST 27.002-89. Reliability in technology. Basic concepts, terms and definitions], Publishing house of standards. M. 1990. 20 p.
7. Gareev, M.Sh., Grigoryunov, R.E. & Podchezertsev, S.V. (2013). “Metod sokrashcheniia poligonnykh ispytaniia obraztsov vooruzheniia i voennoi tekhniki na osnove ispolzovaniia rezultatov korreliatsionnogo analiza apriornoï informatsii” [Method of abbreviation of ground tests of pre-production models of armament and military tech-

- nique on the basis of the use of results of correlation analysis of apriori information], Radiovisotometriia — 2013: Coll. of papers of the IV All-russian scient. and techn. conf. Kamensk-Uralsky. 440 p.
8. Gurman, A.A. (1973). "Vvedenie v teoriyu podobiiia. Uch. Posobie dlia vtuzov" [Introduction to the theory of similarity. Uch. allowance for the univ.], Higher school. M. 296 p.
 9. Alabudzhiev, P.M. (1968). "Teoriia podobiiia i razmernosti. Modelirovanie. Uch. posobie" [Theory of similarity and dimensions. Modeling. Uch. Allowance]. Graduate School. 208 p.

Polegenko O., Gavrilyuk A.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO REDUCING THE VOLUME OF CHECKS WHEN CONDUCTING TESTS OF EXPERIMENTAL SAMPLES OF MISSILE WEAPONS

Providing the Armed Forces of Ukraine with modern missile weapons is an important factor in strengthening the security of the state. Shortening the time frame for conducting tests of missile complexes of the Ground Forces requires the development of a certain scientific and methodological apparatus. It is advisable to choose the lowest cost as a criterion for the effectiveness of the tests for a certain amount of inspections.

Reducing the amount of testing is facilitated by: use of modern means of measurement and information processing; application of modern methods of modeling fast-moving and expensive processes of the functioning of the experimental sample; analysis of test results based on protocols of preliminary checks; using information about a similar sample.

The development of shortened test methods at presence of standard-analogue requires:

- *selection and justification of the analog of the experimental sample; determination and control of the fulfillment of the conditions of similarity between the experimental sample and the analogue; determination of the functional dependence between the main parameters of the experimental sample;*

- *determination of similarity constants; selection of the prototype of the experimental sample based on the received data.*

The undeniable positive effect of using this approach is: reducing the number of tests; reduction of testing times; reducing the number of experimental samples for testing.

Reducing the number of samples for testing leads to a reduction in resource costs while maintaining the quality of information. The quality and volume of information will be sufficient to make a decision about the experimental model of the tactical and operative-tactical missile. This will lead to a reduction in resource costs while maintaining the quality of information about the test sample.

The prerequisites for conducting abbreviated tests are outlined. The main principles of the development of a system of shortened tests of tactical and operational-tactical missile systems of the Ground Forces and the methods of their implementation are specified. The main approaches that can

ensure a significant reduction of material, financial resources and time costs during testing are defined. In particular, it is proposed to optimize the number of experiments due to the use of the most progressive, economically justified methods of conducting them and to use empirical information about similar products.

Відомості про авторів:

Полегенько Олександр Федорович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку ракетно-артилерійського озброєння техніки 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/0000-0001-7834-1057>
e-mail: alexandrp196407@gmail.com

Гаврилюк Альберт Олексійович

науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку ракетного і артилерійського озброєння і техніки Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
e-mail: Gavrylukalbert@gmail.com

Information about the authors:

Olexandr Polegenko

Candidate of Technical Sciences
Senior Research worker
Leading Researcher of Development of Rocket-artillery Armament Research Department of Management Technique of Armament and Military Technique Development of Ground Forces of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7834-1057>
e-mail: alexandrp196407@gmail.com

Albert Gavrilyuk

Research Worker of Scientific Research Department Development Rocket and Artillery Weapons and Machinery of Scientific Research Management of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
e-mail: Gavrylukalbert@gmail.com

УДК 621.396.96

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4\(36\).49-55](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).49-55)

Г. Г. КАМАЛТИНОВ, кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0002-1449-5230>

В. О. ТЮТЮННИК, кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>
(Харківський національний університет
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків)

О. В. БЕЛАВІН, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0003-4217-2786>
(Командування Повітряних Сил Збройних Сил
України, м. Вінниця)

О. В. ШКНАЙ, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0002-5572-4917>
(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

ШЛЯХИ ПІДТРИМАННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК У ПІСЛЯГАРАНТІЙНИЙ ПЕРІОД

Розглянуто підходи до планування та організації післягарантійної експлуатації радіоелектронної техніки (РЕТ) за досвідом збройних сил іноземних держав та вітчизняних підприємств. Проведено аналіз змісту та принципів концепції інтегрованої логістичної підтримки та безперервної підтримки користувача, які реалізуються через розробників та постачальників радіоелектронної техніки за відповідними державними контрактами. Розглянуто зміст сучасної концепції «Performance Based Lifecycle Product Support», яка передбачає відмову від жорсткого розмежування відповідальності між військовим замовником і цивільним постачальником на стадіях життєвого циклу радіоелектронної техніки, та зміст стратегії сервісного обслуговування радіоелектронної техніки. Запропоновані можливі напрямки підтримання працездатності радіоелектронної техніки у післягарантійний період.

Ключові слова: радіоелектронна техніка, працездатність, післягарантійна експлуатація, стадії життєвого циклу, сервісне обслуговування.

ВСТУП

Однією зі складових боездатності збройних сил є рівень справності озброєння та військової техніки (ОВТ) на усіх етапах життєвого циклу, що повинне забезпечуватися реалізацією державної військово-технічної політики. Проблема підтримання технічного стану ОВТ на належному рівні (працездатний стан) та за необхідності своєчасне його відновлення є однією з найважливіших. У теперішній час радіотехнічні війська (РТВ) Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил (ЗС) України, на відміну від інших родів військ ПС ЗС України, знаходяться на стадії переозброєння на нову радіолокаційну техніку вітчизняного виробництва. Значна частина РЕТ РТВ вже складається з нових радіолокаційних станцій (РЛС) вітчизняного виробництва, які експлуатуються більш 5 років після закінчення гарантійних термінів. Водночас, взаємовідносини між експлуатантами та виробниками техніки у післягарантійний період на державному рівні досі не врегульовані. Тому удосконалення організації процесу підтримання працездатності РЕТ РТВ вітчизняного виробництва у післягарантійний період є актуальною задачею.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На теперішній час вже опубліковано ряд узагальнюючих робіт щодо вирішення проблем формування державної військово-технічної та оборонно-промислової політики [1–7]. В роботах [3, 5] запропоновані шляхи вдосконалення системи технічної експлуатації та ремонту ОВТ. В роботах [2, 4, 13] розглянуто питання вдосконалення управління життєвим циклом ОВТ. Питання підтримання технічного стану шляхом відновлення та продовження призначених показників ОВТ розглядаються в роботах [1, 6]. В роботі [7] розглянуто шляхи вирішення проблем розрахунку потреб на підтримку справного стану і продовження ресурсних показників. Разом з тим, через особливості швидкого розвитку радіоелектронної техніки (РЕТ) РТВ, поза увагою залишилися питання особливостей організації підтримання працездатності РЕТ РТВ вітчизняного виробництва та взаємовідносин замовника та виробника після закінчення дії гарантійних зобов'язань.

Метою цієї статті є визначення раціональних шляхів підтримання працездатності РЕТ РТВ вітчизняного виробництва у післягарантійний період.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ключовим питанням в організації процесу підтримання працездатності ОВТ є відносини між підприємствами оборонно-промислового комплексу (ОПК), як постачальника послуг, та військовими відомствами. ОПК є специфічним сектором економіки, де відносини між замовником і постачальником ОВТ регулюються жорсткими і досить консервативними правилами. Водночас, зміни у світовій економіці та промисловості обумовлюють необхідність пошуку нових альтернативних підходів до формування відносин між ОПК та оборонними відомствами.

В країнах НАТО можна виділити два основних підходи до планування та організації післягарантійної експлуатації ОВТ [8–10]:

– використання традиційних принципів концепції інтегрованої логістичної підтримки «Integrated Logistics Support» (ILS);

– впровадження принципово нової концепції підтримки життєвого циклу ОВТ на основі кінцевого результату (працездатності) «Performance Based Lifecycle Product Support» (PBL).

Принципи концепції інтегрованої логістичної підтримки ILS передбачають [11, 12]:

– організацію регіональних сервісних організацій (за типами засобів) для проведення ремонту, модернізації і технічного обслуговування;

– централізоване планування експлуатації, технічного обслуговування і ремонту, видання інформаційних матеріалів з технічного обслуговування;

– створення єдиних інформаційних мереж та єдиних автоматизованих баз даних, що дозволяє оперативно повідомляти, реєструвати та аналізувати несправності, вести облік наявності та витрачання запасних частин, інструментів та приладдя (ЗІП);

– вдосконалення систем планування регламентних робіт;

– організацію сучасних систем підготовки і перепідготовки обслуговуючого персоналу;

– розвиток систем оперативної доставки необхідних елементів і комплектуючих;

– розвиток технологій та стратегій технічного обслуговування, гнучкість його проведення.

Ці принципи реалізуються через розробників та постачальників ОВТ із забезпеченням державного фінансування відповідних заходів за державними контрактами. Концепція ILS на цей час вважається застарілою, тому що хоча і об'єднала розрізнені елементи експлуатаційної логістики, але, як і раніше, відділяла їх від процесів закупівель ОВТ. Найбільш критичним недоліком концепції ILS є відсутність прямого зв'язку між тим, що повинна робити промисловість, і реальними потребами кінцевого споживача – бойових підрозділів.

Концепція PBL передбачає відмову від жорсткого розмежування відповідальності між військовим замовником і цивільним постачальником на післявиборничих стадіях життєвого циклу ОВТ. За концепцією PBL передбачається укладання довгострокових і взаємовигідних угод сервісної підтримки між військовими замовниками і цивільними постачальниками ОВТ. В основу таких угод покладаються нові закони про державно-приватне партнерство «Public-Private Partnership» (PPP). Предметом таких угод стають не конкретні ЗІП або послуги, а нормовані показники кінцевого результату сервісної підтримки – справність, надійність, економічність в експлуатації, час простою техніки у військах.

З початку 2000 років, концепція PBL набуває широкого поширення та безперервно розвивається. Принципова новизна концепції PBL на момент її появи полягала в тому, що закупівля ОВТ та її подальша підтримка в експлуатації були інтегровані в єдиний процес, підконтрольний відповідному керівнику певної програми всередині оборонного відомства. До цього моменту, відповідно до усталених правил, це були різні, не завжди рівнозначні напрямки діяльності, за які відповідали

різні служби всередині міністерства оборони (МО). При цьому основна увага приділялася розробці та закупівлі систем ОВТ, а питання підтримки експлуатації придбаної техніки вирішувалися за залишковим принципом. Внаслідок цього отримання очікуваного ефекту від реалізації оборонних програм затягувалося на довгі роки. Концепція PBL базується на довгострокових сервісних угодах з чітким розподілом повноважень і відповідальності між сторонами.

Другим важливим елементом новизни концепції PBL є надання керівникам відповідних оборонних програм адекватних прав і повноважень на встановлення партнерських відносин з промисловістю для спільного вирішення задач, що раніше знаходилися у виключній компетенції МО. У нових умовах таке партнерство може здійснюватися в різних варіантах в залежності від специфіки тієї чи іншої програми від виняткової відповідальності за підтримку експлуатації ОВТ на стороні МО до повної відповідальності за це на стороні цивільного партнера, якого називають PBL-контрактором.

Третім важливим елементом новизни концепції PBL стало придбання у провайдера послуг сервісної підтримки (PBL-контрактора) не конкретного ЗІП або послуг, а нормованих показників кінцевого результату, важливих для основного споживача – бойового підрозділу:

– рівня справності систем ОВТ;

– рівня експлуатаційної надійності ОВТ;

– повної вартості володіння системою ОВТ для замовника;

– середнього часу простою.

Якщо раніше військові були зобов'язані самі визначати потреби в ЗІП для підтримки заданого рівня справності систем ОВТ, відстежувати матеріальні запаси, здійснювати необхідні закупівлі та виконувати технічне обслуговування, то за концепцією PBL ці обов'язки дозволено делегувати цивільному підряднику. В цьому випадку оплата послуг промисловості набуває регулярного характеру, а розмір винагороди для промисловості буде залежати від фактично досягнутих результатів.

Четвертим важливим елементом новизни концепції PBL є довгостроковий характер партнерства між замовником і PBL-контрактором, при яких постачальник системи ОВТ бере на себе зобов'язання підтримувати експлуатацію проданого оборонному відомству ОВТ протягом тривалого періоду аж до списання або зняття зразка ОВТ з озброєння. Завдяки цьому, у промисловості з'явиться не тільки стимул, але і реальна можливість інвестувати кошти в удосконалення експлуатаційних характеристик ОВТ. Військове відомство, в свою чергу, позбудеться безлічі проблем в плануванні і виконанні оборонного бюджету.

Винагорода PBL-контрактора визначається не цінами на конкретні запасні частини і окремі види послуг, як при традиційному підході, а фактично досягнутими показниками рівня справності і надійності матеріальної частини, експлуатаційними витратами замовника і середнім часом простою техніки, обумовлених відмовами. В таких умовах у PBL-контрактора з'являється пряма зацікавленість в досягненні максимально можливого результату при мінімальних витратах. З одного боку, PBL-контрактор прагне

до того, щоб техніка була працездатною, менше простоювала на планових і непланових ремонтах. З іншого боку, робить все від нього залежне, щоб підвищити надійність матеріальної частини, збільшити міжремонтний ресурс, мінімізувати трудомісткість обслуговування, скоротити потреби в ЗІП, оскільки це буде прямо відбиватися на його власних операційних витратах.

У теперішній час МО США вважає концепцію PBL кращим підходом до сервісної підтримки експлуатації систем ОВТ. Це обумовлює збільшення кількості компаній оборонної сфери, які позиціонують себе як провайдерів послуг, а не лише тільки постачальниками ОВТ.

За оцінками військових аналітиків МО США, застосування концепції PBL здатне щорічно забезпечити від 10 до 20 млрд дол. економії бюджетних коштів.

В умовах України забезпечення впровадження концепції PBL у теперішній час є проблематичним за наступними принциповими обставинами:

- у законодавстві України відсутні адекватні правові механізми щодо реалізації державно-приватного партнерства, що перешкоджає успішному поширенню і розвитку принципів концепції PBL;

- іншою істотною перешкодою на цьому шляху є існування транзакційної моделі договірних відносин між замовником і виконавцем державного оборонного замовлення.

Відповідно до транзакційної моделі, незалежно від схеми ціноутворення, оплаті підлягає виключно конкретна робота, виконана для замовника або поставлена йому товарна продукція. Цей принцип суперечить самій суті концепції PBL, де предметом договору є кінцеві показники справності, надійності і економічності систем ОВТ в експлуатації. У теперішній час в системі державних закупівель відсутні будь-які правові механізми законного придбання та продажу чого б то не було, крім товарно-матеріальних цінностей і конкретних послуг.

При обмеженій зверху нормі прибутку, виконавець, як і раніше, буде зацікавлений у виконанні для замовника якомога більшого обсягу робіт і постачання йому максимально можливого обсягу товарної продукції. Це означає, що чим частіше і довше техніка буде простоювати в ремонті, і чим більше споживати ЗІП, тим вище доходи промисловості. Тобто фактично інтереси промисловості і військових в цьому випадку є прямо протилежними. Збереження сформованої практики держзакупівель стосовно післявиробничих стадій життєвого циклу систем ОВТ неминуче призведе до збільшення витрат МО на підтримку справності техніки. Це буде обумовлювати зменшення можливостей для фінансування розробок і прийняття на озброєння нових систем.

Ще одним підходом до організації системи технічного обслуговування ОВТ у післягарантійний період, який активно використовується у країнах колишнього Радянського Союзу, є стратегія сервісного обслуговування [13–15]. Сервісне обслуговування ОВТ – це комплекс робіт, спрямованих на підтримку і відновлення працездатного стану і ресурсу ОВТ, що виконуються фахівцями сервісної організації самостійно або за участю особового складу експлуатуючої організації.

Сервісне обслуговування передбачає:

- моніторинг технічного стану;
- технічне діагностування та обслуговування;
- заміна агрегатів, що виробили ресурси (терміни служби), доукомплектування;
- оперативне відновлення (поточний ремонт), заводський (капітальний, середній) ремонт ОВТ і агрегатів;
- технічний нагляд в процесі експлуатації відповідно до вимог державних стандартів, огляд ОВТ, що підлягають Держтехнагляду;
- продовження термінів служби (зберігання), формування обмінного фонду агрегатів;
- навчання особового складу військових частин.

Сутність сервісного обслуговування ОВТ та обов'язки його суб'єктів закріплюються через відповідні накази МО. Сервісне обслуговування ОВТ здійснюється на основі використання виробничого потенціалу підприємств промисловості за участю інженерно-технічного складу відповідних частин і підрозділів.

Сервісному обслуговуванню підлягають комплекси в цілому, системи, вироби, групові та ремонтні комплекти ЗІП до них. Необхідність проведення сервісного обслуговування нових зразків ОВТ визначається на етапі прийняття їх на озброєння.

Сервісне обслуговування, як правило, включає виконання робіт з технічного обслуговування № 2 (ТО-2), регламентованого технічного обслуговування і регламентних робіт, оперативного відновлення післягарантійних виробів.

Комплекс робіт з організації сервісного обслуговування передбачає створення центру автоматизованого ситуаційного управління сервісним обслуговуванням ОВТ виду збройних сил та системи територіальних сервісних центрів головного виконавця робіт із сервісного обслуговування, укомплектування їх фахівцями, ремонтними і діагностичними засобами, формування оборотних і резервних фондів, страхових запасів ЗІП.

Для повноцінного впровадження стратегії сервісного обслуговування РЕТ апаратура і програмне забезпечення прийнятих на озброєння зразків повинні бути пристосовані до реалізації ефективних експлуатаційних, діагностичних і ремонтних технологій.

На теперішній час українські виробники РЕТ вже мають позитивний досвід щодо післягарантійного обслуговування РЛС, яка виготовлялася на замовлення іноземних держав.

За досвідом виробника РЛС ТОВ «НВП “Аеротехніка-МЛТ”» [16] вважається, що існує три основні шляхи ефективного вирішення задачі швидкого відновлення працездатності РЛС, зокрема в районах ведення бойових дій.

Перший шлях – це формування запасів групового ЗІП на конкретні види РЕТ та зберігання його на центральних складах відповідних органів МО. Такий підхід дозволяє найбільш оперативно та без залучення фахівців виробника, власними силами експлуатантів усувати можливі несправності РЕТ, у тому числі в районах ведення бойових дій.

Другий шлях – це укладання щорічних договорів між виробником та органом забезпечення ОВТ на післягарантійне обслуговування РЕТ. При цьому фінансовий

ресурс планується на всіх виробників та витрачається по факту. На момент укладення договору фіксується лише орієнтовна вартість людино-години роботи фахівця виробника. Сировина, матеріали, деталі власного виробництва, які витрачаються, оплачуються по факту виконання робіт у відповідних експлуатуючих частинах (або в умовах виробника, у разі необхідності).

Третій шлях – це укладання щорічних договорів між виробником та органом забезпечення ОВТ на післягарантійне технічне обслуговування зразків РЕТ (не нижче рівня ТО-2, 2 рази на рік) з узгодженим графіком його проведення або у випадку виникнення відмови РЕТ. У такому випадку кількість відмов суттєво зменшується. При цьому фінансовий ресурс також планується і витрачається як і у попередньому випадку.

За досвідом іншого виробника РЛС КП «НВК “Іскра”» [17] вважаються ефективними наступні заходи:

- створення цілодобової служби технічної підтримки на підприємстві, яка у режимі відео конференції у реальному часі здійснює консультаційно-діагностичні функції;
- створення підмінного фонду ЗІП на підприємстві за рахунок Замовника для оперативного відновлення РЕТ спеціалізованими бригадами підприємства;
- створення спеціалізованих відновлюваних комплектів радіоелектронних компонентів, особливо застарілих та тих, що виробляються в Україні;
- укладання щорічних договорів між виробником та експлуатуючою організацією (радіотехнічною частиною) на сервісне обслуговування РЕТ.

За результатами аналізу досвіду збройних сил іноземних держав та досвіду українських виробників можливо виділити наступні доцільні напрямки підтримання працездатності РЕТ у післягарантійний період у РТВ ПС ЗС України:

- а) розробка довгострокової стратегії сервісної підтримки РЕТ, яка розробляється підприємствами України, на основі державно-приватного партнерства та ініціація відповідних змін у законодавстві України;
- б) посилення інформаційно-аналітичної роботи, залучення виробників до проведення інженерного аналізу РЕТ, створення консультативно-інформаційних служб на підприємствах для прискорення та покращення діагностики РЕТ;
- в) укладання довгострокових сервісних угод з виробниками на сервісну підтримку, у яких передбачити:
 - обов'язки підприємств з підтримки РЕТ у працездатному стані у післягарантійний період;
 - обов'язки Командування ПС ЗС України до підприємств стосовно реалізації заходів з підтримки РЛС у працездатному стані;
 - уточнення складу, виготовлення та постачання групових та ремонтних ЗІП, які доцільно розміщувати на базі ремонтних майстерень військових частин РТВ;
 - навчання особового складу ремонтних майстерень РТВ (в обсязі робіт поточного ремонту РЕТ відповідно до вимог експлуатаційної документації);
 - оперативне відновлення несправних РЛС силами експлуатанта або ремонтних бригад підприємств;
 - проведення попереджально-профілактичних заходів з післягарантійного технічного обслуговування РЛС;

– здійснення ремонту вузлів РЛС на підприємстві, у разі неможливості здійснення його у ремонтних майстернях РТВ;

– термінове втілення нових доробок РЛС, яке здійснюється підприємством, та удосконалення програмного забезпечення РЛС.

Реалізація зазначених напрямків забезпечить можливість відтермінувати середній та капітальний ремонт РЕТ, дозволить оперативно відновлювати РЕТ, не чекаючи планових призначень, узгодження черговості на ремонт, тощо.

Початковими заходами переходу до системи сервісної підтримки можуть бути:

- складання для кожного підприємства переліку та пропозицій з організації робіт з підтримання працездатності РЕТ у післягарантійний період;
- укладання договорів щодо реалізації заходів з підтримання працездатності РЕТ у післягарантійний період з урахуванням специфіки підприємства-виробника, форми його власності та складності зразків РЕТ;
- формування пропозицій щодо періодичного коригування складу групових та ремонтних ЗІП, складу і переліку операцій попереджального технічного обслуговування та ремонту РЕТ за результатами поглибленого інженерного аналізу.

ВИСНОВКИ

У статті розглянуто досвід збройних сил іноземних держав і українських виробників радіолокаційної техніки щодо можливих напрямків підтримання працездатності РЕТ у післягарантійний період. Оцінено можливість та доцільність їх впровадження в Україні.

За результатами проведених досліджень показано, що можливими напрямками підтримання працездатності РЕТ РТВ вітчизняного виробництва у післягарантійний період можуть бути довгострокова стратегія сервісної підтримки на основі державно-приватного партнерства, що вимагає відповідних змін у законодавстві України, створення консультаційно-інформаційних служб на підприємствах для покращення оперативної діагностики несправностей РЕТ, періодичне коригування, виготовлення та постачання комплектів групових ЗІП, впровадження доробок та удосконалення програмного забезпечення РЕТ.

На підставі вище зазначеного розроблено пропозиції щодо організації підтримання працездатності РЕТ РТВ у післягарантійний період, які можуть бути покладені в основу державної політики у цьому напрямку. Реалізація розроблених пропозицій вимагає спільної узгодженої роботи структурних підрозділів МО, науково-дослідних установ, виробників РЕТ та відповідних змін у нормативно-правовій базі.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Чепков І.Б. Деякі проблеми формування державної військово-технічної та оборонно-промислової політики України на сучасному етапі. *Наука і оборона*. 2017. № (3/4). С. 45–53. <https://doi.org/10.33099/2618-1614-2017-1-3/4-45-53>.
2. Зубарев В.В., Ланецький Б.М., Лук'янчук В.В., Ніколаєв І.М. Системно-концептуальні аспекти управління повним життєвим циклом системи зенітного ра-

- кетного озброєння. *Озброєння та військова техніка*. 2020. № 2 (26). С. 65–77. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2\(26\).65-77](https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2(26).65-77).
3. Булка В.М., Коробченко С.О. Удосконалення порядку відновлення та продовження призначених показників озброєння, військової та спеціальної техніки. *Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки*: зб. тез доп. VI міжнар. наук.-практ. конф. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗСУ. 2018. С. 35.
 4. Булка В.М. Основні завдання створення в Україні системи управління життєвим циклом озброєння та військової техніки. *Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки*: зб. тез доп. VI міжнар. наук.-практ. конф. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗСУ. 2019. С. 48–49.
 5. Булка В.М., Лук'янов П.О. Політика міністерства оборони України у сфері забезпечення якості продукції оборонного призначення. *Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки*: зб. тез доп. VI міжнар. наук.-практ. конф. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗСУ. 2019. С. 49–50.
 6. Ланецький Б.М., Чепков І.Б., Теребуха І.М., Лук'яничук В.В. Сучасний стан і шляхи вдосконалення системи технічної експлуатації та ремонту зенітного ракетного озброєння Повітряних Сил Збройних Сил України. *Наука і оборона*. 2017. № 3(4). С. 54–60. <https://doi.org/10.33099/2618-1614-2017-1-3/4-54-60>.
 7. Дончак Д.А., Камалтинов Г.Г., Колесник О.М. Методика розрахунку потреб на підтримку справного стану і продовження ресурсних показників радіоелектронної техніки системи радіолокаційної розвідки і контролю повітряного простору. *Системи озброєння та військова техніка*. 2013. № 4(36). С. 16–21.
 8. Чепков І.Б., Сотник В.В., Борохвостов І.В., Бондарчук М.В., Білокур М.О. Порівняльний аналіз систем оборонного планування в США та в Україні. *Озброєння та військова техніка*. 2019. № 23 (3). С. 3–15. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3\(23\).3-15](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3(23).3-15).
 9. Контракты жизненного цикла ВВТ. *Зарубежный опыт*. АвиаПорт.Ру: веб-сайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.aviaport.ru/digest/2013/07/01/258345.html> (дата звернення 26.05.201).
 10. Рей А. Новые тенденции в организации военных закупок в США. *Индекс безопасности*. 2013. № 3 (110). Т. 20. С. 125–131. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pircenter.org/media/content/files/12/14115671300.pdf>.
 11. Камалтинов Г.Г., Колесник О.М., Шрамков А.Ю. Основные направления повышения надежности и ремонтнопригодности вооружения и военной техники, реализуемые в странах НАТО. *Зб. наук. пр. ОНДІ ЗС*. 2006. № 2(4). С. 56–61.
 12. Guidance for writing NATO R M requirements documents. *ARMP-4 (Ed. 2)*. 2001. Available at: http://everyspec.com/NATO/NATO-ARMP/ARMP-4-ed2_350.
 13. Буравлев А.И., Пьянков А.А. Управление техническим обеспечением жизненного цикла вооружения и военной техники. *Граница: монография*; ред. Буравлев А.И., Пьянков А.А. М. 2015. С. 304.
 14. Зарицкий В.О. Предупредить не по плану. *Армейский сб.* № 11. 2019. С. 33–42. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://army.ric.mil.ru/upload/site175/2QSiHRyELc.pdf>.
 15. Пьянков А.А., Белорозов М.С. Проблемные вопросы планирования и реализации мероприятий технического обеспечения Вооруженных Сил российской федерации в рамках государственной программы вооружения и пути их решения. *Вооружение и экономика*. 2016. № 4 (37). С. 57–69. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.viek.ru/37/57-69.pdf>.
 16. Офіційний сайт AEROTECHNICA.UA. *Научно-производственное предприятие «Аэротехника-МЛТ»*: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.aerotechnica.ua/events>.
 17. Офіційний сайт КП НБК «Іскра». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://iskra.zp.ua/index.php?lang=ua>.

REFERENCES

1. Chepkov, I.B. (2017), “Deiaki problemy formuvannya derzhavnoi viiskovo-technichnoi ta oboronno-promuslovoi polityky Ukrainy na suchasnomu etapi” [There would be some problems in the formation of the state military-technical and defense-industrial policy of Ukraine at the present stage], *Science and defense*. № 3/4. Pp. 45–53.
2. Zubarev, V.V., Lanetsky, B.M., Lukyanchuk, V.V. & Nikolaev, I.M. (2020), “Systemno-kontseptualni aspekty upravlinnia povnym zhyttevym tsiklom systemy zenitnogo rakennogo ozbroennia” [System-conceptual aspects of the management of the complete life cycle of the system of counterenite missile defense], *Weapons and military equipment*. № 2(26). Pp. 65–77.
3. Bulka, V.M. & Korobchenko, S.A. (2018), “Udoskonalennia poriadku vidnovlennia ta prodovzennia pryznachenykh pokaznykiv ozbroennia, viiskovoi ta spetsialnoi tekhniki” [Improvement of the procedure of renewal and continuation of the designated parameters of armaments, military and special equipment], *Problems of coordination of military-technical and defense-industrial policy in Ukraine. Prospects of arms and military equipment development: Zb. tez dopov. Miznar. Nauk.-Prakt. Conf. K.: CNDI OVT ZSU*. P. 35.
4. Bulka, V.M. (2019), “Osnovni zavdannia stvorennia v Ukraini systemy upravlinnia zhyttevym tsiklom ozbroennia ta viiskovoi tekhniki” [The main tasks of creation in Ukraine of the system of life cycle management of arms and military equipment], *Problems of coordination of military-technical and defense-industrial policy in Ukraine. Prospects of arms and military equipment development: tez dopov. Miznar. Nauk.-Prakt. Conf. K.: CNDI OVT ZSU*. Pp. 48–49.
5. Bulka, V.M. & Lukyanov, P.A. (2019), “Polityka ministerstva oborony Ukrainy u sferi zabezpechennia yakosi produktii oboronno pryznachennia” [The policy of the Ministry of Defense of Ukraine in the sphere of quality assurance of defense products], *Problems of coordination of military-technical and defense-industrial policy in Ukraine. Prospects of arms and military equipment development: Zb. tez dopov. Mizhnar. Nauk.-Prakt. Conf. K.: CNDI OVT ZSU*. Pp. 49–50.

6. Lanetsky, B.M., Chepkov, I.B., Terebukha, I.M. & Lukyanchuk, V.M. (2017), "Suchasnyi stan i shliakhy vdoskonalennia systemy technichnoi ekspluatatsii ta remontu zenitnogo raketnogo ozbroennia Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy" [Modern condition and ways of improvement of the system of technical operation and repair of the antiaircraft missile armament of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine], Science and defense. № 3(4). Pp. 54–60.
7. Donchak, D.A., Kamaltinov, G.G. & Kolesnik, O.M. (2013), "Metodyka rozrakhunku potreb na pidtrymku spravnogo stanu i prodovzhennia resyrsnykh pokaznykiv radioelektronnoi tekhniki systemy radiolokatsiinoi rozvidky i kontroliu povitrianoogo prostoru" [The purpose of calculation of needs in support of a fair condition and continuation of resource indicators of radio electronic equipment of the system of radar tracking and air space control], Systems of armaments and military equipment. № 4(36). Pp. 16–21.
8. Chepkov, I.B., Sotnik, V.V., Borohvostov, I.V., Bondarchuk, M.V. & Bilokur, M.O. (2019), "Porivnialnyi analiz system oboronnoho planyvannia v SSHA ta v Ukraini" [Comparative analysis of defense planning systems in the USA and Ukraine], Weapons and military equipment. № 23 (3). Pp. 3–15.
9. "Kontrakty zhiznennogo tsikla VVT" [Contracts life cycle BBT], Foreign experience. AviaPart.Ru: website. Available at: <https://www.aviaport.ru/digest/2013/07/01/258345.html>.
10. Rey, A. (2013), "Novie tendentsii v organizatsii voennykh zakypok v SSHA" [New trends in the organization of military procurement in the USA], Security Index. № 3(110). Vol. 20. Pp. 125–131. Available at: <http://pircenter.org/media/content/files/12/14115671300.pdf>.
11. Kamaltynov, G.G., Kolesnik, O.M. & Shramkov, A.Y. "Osnovnye napravliniia povysheniia nadezhnosti i remontoprigradnosti vooruzheniia i voennoi tekhniki, realizuemye v stranakh NATO" [The main directions for improving the reliability and serviceability of weapons and military equipment, implemented in the NATO countries], Zb. Nauk. Pr. ONDI ZS. 2006. № 2(4). Pp. 56–61.
12. Guidance for writing NATO R M requirements documents. ARMP-4 (Ed. 2). 2001. Available at: http://everyspec.com/NATO/NATO-ARMP/ARMP-4-ed2_350.
13. Buravlev, A.I. & Piankov, A.A. (2015), "Upravlenie technicheskimi obespecheniem zhyznennogo tsikla vooruzheniia i voennoi tekhniki Granitsa: monografiia" [Management of the technical support of the life cycle of weapons and military equipment, Border: monograph]; for ed. Buravlev, A.I. & Piankov, A.A. M. P. 304.
14. Zaritsky, V.O. (2019), "Predupredit ne po planu" [Warn not according to the plan], Army Coll. № 11. Pp. 33–42. Available at: <http://army.ric.mil.ru/upload/site175/2QSiHRYELc.pdf>.
15. Piankov, A.A. & Belorosko, M.S. (2016), "Problemye voprosy planirovaniia i realizatsii meropriiati tekhnicheskogo obespecheniia Vooruzhennykh Sil rossiiskoi federatsii v ramkakh gosudarstvennoi programmy vooruzheniia i puti ikh resheniia" [Problematic issues of planning and implementation of measures of technical support of the Armed Forces of the Russian Federation within the framework of the state armament program and ways of their solution]. Electronic Scientific J. Armament and Economy. №4 (37). Pp. 57–69. Available at: <http://www.viek.ru/37/57-69.pdf>.
16. "Ofitsiinyi sait AEROTECHNICA.UA. Nauchno-proizvodstvennoe predpriiatie «Aerotechnica-MLT»" [International site «AEROTECHNICA.UA. Scientific-Production Enterprise Aerotechnics-MLT»]. Available at: <https://www.aerotechnica.ua/events>.
17. "Ofitsiinyi sait KP NVK «Iskra»" [Official site of the State Enterprise «Scientific and Production complex «Iskra»]. Available at: <http://iskra.zp.ua/index.php?lang=ua>.

Kamaltynov G., Tyutyunnyk V., Bielavin O., Shknaï O.

DIRECTIONS OF MAINTENANCE OF STATE OF OPERABILITY OF RADIOELECTRONIC EQUIPMENT OF RADARS TROOPS IN THE POST-WARRANTY PERIOD

Approaches to planning and organization of post-warranty exploitations of radioelectronic equipment according to the experience of armed forces of foreign states and domestic enterprises are described. Content and principles of integrated logistics support concept and continuous support of user concept, which are being implemented by developers and suppliers of armament with providing of the state financing by state contracts are analyzed. Content and principles of modern conception «Performance Based Lifecycle Product Support», which provides for a refusal from hard differentiation of responsibility between military customer and civil supplier in post-warranty period of life cycle of radioelectronic equipment are considered. Content and principles of radioelectronic equipment service strategy, which actively is being implemented in countries of former Soviet Union, are discussed. It is marked, that implementation of «Performance Based Lifecycle Product Support» conception in Ukraine today restrains temper by imperfection of law and by existence of the transaction model of contractual relations between military customer and civil performer of military order. The main obstacle from the side of law is absence of mechanisms of realization of «Public-Private Partnership». It is shown, that possible directions of maintenance of state of operability radioelectronic equipment of domestic productions in post-warranty period can be long-term strategy of service support of radioelectronic equipment on the basis of long-term contracts, creation of consultative-informative services on enterprises for the improvement of operative diagnosis of radioelectronic equipment, periodic adjustment, making and supplying of spare parts, implementation of revision and perfection of software.

Keywords: radioelectronic equipment, state of operability, post-warranty exploitation, life cycle stages, service.

Відомості про авторів:**Камалтинов Геннадій Григорович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1449-5230>

Тютюнник Владислав Олександрович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу
Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>

Бєславін Олексій Вікторович

кандидат технічних наук
начальник відділу
Командування Повітряних Сил Збройних Сил України
м. Вінниця, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4217-2786>

Шкнай Олег Вікторович

кандидат технічних наук
провідний науковий співробітник
Центрального науково-дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5572-4917>

Information about the authors:**Gennadij Kamaltynov**

Candidate of Technical Sciences, Senior Research
Lead Researcher of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1449-5230>

Vladyslav Tiutiunnyk

Candidate of Technical Sciences, Senior Research
Chief of Scientific Research Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7766-3246>

Oleksii Bielavin

Candidate of Technical Sciences
Chief of Department
of Air Force Command of Armed Forces of Ukraine
Vynnytsya, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4217-2786>

Oleh Shknai

Candidate of Technical Sciences
Lead Researcher of Central Scientific
Research Institute of Armament and Military
Equipment of the Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5572-4917>

УДК 623.611/.615

[https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4\(36\).56-67](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).56-67)

О. В. КОВБАСЮК, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0002-2481-2877>

О. М. КОСТИНА, кандидат військових наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0003-1469-9580>

О. М. БАШКИРОВ, кандидат технічних наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0001-9444-0653>

Л. С. ОНИКІЄНКО,
<https://orcid.org/0000-0002-2312-583X>
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ

Проведення досліджень складових компонентів озброєння та військової техніки збройних сил російської федерації викликане необхідністю наведення доказів застосування саме російської зброї в збройному конфлікті проти України, а також надання фактів застосування іноземних комплектуючих в начебто «російських» виробках військової техніки. В статті описана методика досліджень радіоелектронних компонентів озброєння та військової техніки російської федерації, що була захоплена під час боїв на Україні. Методика включає процедури ідентифікації зразків в цілому та їх складових, визначення найменування, призначення та характеристик зразка, призначення та характеристик радіоелектронних компонентів, виявлення виробника, назви та адреси офісу підприємства, визначення кооперації підприємств з розробки та виготовлення зразка та його електронних компонентів, а також місця розташування виробництва.

Ключові слова: озброєння та військова техніка російській федерації, дослідження зразків зброї та військової техніки, що застосовується проти України, ідентифікація виробу, найменування та призначення зразка, характеристики зразка, ідентифікація радіоелектронних складових озброєння та військової техніки, призначення та характеристики радіоелектронних елементів, походження радіоелектронного обладнання.

Відомо про багато випадків, коли офіційні особи росії відмовляються визнати злочини, посиляючись на недостатність доказів. Серед найбільш «гучних» подібних справ – отруєння колишнього співробітника російського КДБ Олександра Литвиненка високорадіоактивним полонієм-210 у 2006 році або спроба отруєння колишнього російського розвідника Сергія Скрипаля отруйною речовиною під назвою «Новічок» у 2018 році [1–4]. Незважаючи на те, що в другому випадку «Новічок» був доступним виключно для урядових структур, а не для цивільного населення, офіційні особи росії звинуватили Великобританію в фабрикації справи Скрипаля та в створенні «фейкової» історії, росіянами було висунуто 24 різних теорій про те, що ж сталося в Солсбері [5, 6]. Практика відмови визнавати власні злочини продовжується під час збройної агресії росії проти України. Це стосується і збиття над територією України у 2014 році авіалайнера Boeing 777-200ER авіакомпанії Malaysia Airlines [7, 8], коли Міноборони країни-терориста продовжувало спростовувати висновки Ради з безпеки Нідерландів (DSB), що здійснює незалежні розслідування серйозних подій та катастроф, та Об'єднаної слідчої групи [9].

Ця тенденція зберігається і після прямого вторгнення російських військ в Україну 24 лютого 2022 року, коли весь світ побачив результати руйнувань житлових кварталів, торгових центрів, вокзалів, лікарень, навчальних закладів, пологових будинків. Зокрема, постійний представник росії в ООН на запитання Бі-бі-сі про безладні обстріли і бомбування житлових районів відповів: «Вони самі (українські військові) продовжують це робити досі, у Миколаєві, Краматорську, Слов'янську та Одесі. Вони ведуть обстріл власних житлових кварталів, і як підтвердження, у нас є свідчення українських військовополонених» [10]. Цей перелік можна продовжувати й далі: обстріл зупинки у Донецьку 22 січня 2015 року, обстріл Маріуполя 24 січня 2015 року, бомбардування навесні 2022 року пологового будинку або Драмтеатру Маріуполя, де укривалися мирні жителі, злочини російських військ у Бучі та інших населених пунктах Київщини у березні-квітні 2022 року, обстріл колонії біля окупованої Оленівки 29 липня 2022 року [11].

Неодноразові спроби визнати росію країною-спонсором тероризму нарешті дійшли до практичних дій [12, 13]. Тому в цей час вкрай важливим є збирання доказів застосування саме російської зброї, а також озброєння та військової техніки (ОВТ) в збройному конфлікті проти України.

Крім того, під час збройної агресії в Україні російські збройні сили широко застосовують високотехнологічні ОВТ: високоточні засоби вогневого ураження (крилаті ракети повітряного, наземного та морського базування, балістичні ракети), засоби розвідки (радіолокаційні станції, безпілотні літальні апарати), засоби радіоелектронної боротьби, зв'язку, управління військами й зброєю та ін. Як виявилось, виготовлення нових зразків ОВТ, у тому числі різних видів зброї, засобів зв'язку, управління, РЕБ та інших для потреб збройних сил російської федерації залежить від наявності у російських виробників іноземних радіоелектронних компонентів. З введенням санкцій та припинення постачання пев-

них радіоелектронних компонентів, російський оборонно-промисловий комплекс стикнувся з проблемою продовження серійного виробництва зазначених зразків ОВТ для поповнення втрат російської армії. Тому в цей час важливим стає виявлення фактів порушення санкцій проти російської федерації, виявлення фактів застосування іноземних комплектуючих в начебто «російських» зразках ОВТ.

В травні 2022 р. дослідницька група Conflict Armament Research (CAR), що здійснює дослідження озброєння збройних конфліктів, задокументувала передові системи озброєння та комунікаційне обладнання, які російська федерація використовувала у війні проти України [14]. Серед засобів військового призначення були безпілотні літальні апарати «Орлан-10», «Ластівка-М», військові радіостанції, системи радіоелектронної протидії та бортової оборони, а також залишки того, що українська влада ідентифікувала як ракети Х-101, Х-59 та крилаті ракети ЗМ14, усі вони були виготовлені в російській федерації [15, 16]. Дослідження CAR показує, що кожен із цих зразків ОВТ містить компоненти, вироблені компаніями, розташованими в Європі та Сполучених Штатах. Німецька служба національних та міжнародних телевізійних новин Tagesschau повідомила, що експерти виявили двигуни німецького виробництва в російських БПЛА, що використовувалися навіть для шпигунських польотів до країн ЄС [17, 18]. В подальшому дослідники CAR відстежують виробників цих компонентів, щоб підтвердити їхнє походження та з'ясувати, як вони потрапили до російського озброєння [19].

При цьому адміністрація президента США заявила, що заборона, яку також вводять головні союзники США, спрямована на припинення поставок оборонним та іншим покупцям високотехнологічних товарів у секторах аерокосмічних і морських технологій [20]. Саме тому визначення походження радіоелектронних компонентів російської техніки, що використовується на Україні, їх ідентифікація є критично важливим завданням для контролю за виконанням санкційних заходів проти російської федерації з метою недопущення можливості відновлення та продовження серійного виробництва високотехнологічної зброї та військової техніки.

Таким чином, велика увага, що приділяється як у світі, так і в Україні, до виявлення фактів порушення санкційних заходів проти російської федерації при створенні та виробництві високотехнологічного ОВТ для її збройних сил, а також важливість збирання доказів для подальших кримінальних проваджень проти країни-агресора свідчить про актуальність досліджень російських зразків ОВТ, що попадає до рук захисників України.

Метою статті є надання відомостей щодо порядку дослідження радіоелектронних компонентів озброєння та військової техніки збройних сил російської федерації та створення методики цього дослідження.

На рис. 1 показаний узагальнений алгоритм проведення досліджень, що включає декілька процедур.

Ідентифікація зразка означає його розпізнавання, а також визначення назви, шифру, серійного (заводського, децимального тощо) номера, виявлення маркування



Рис. 1. Узагальнений алгоритм проведення досліджень

зразка (складових частин). До проведення ідентифікації зразка залучаються спеціалісти (експерти) з відповідних галузей знань.

Процедура ідентифікації зразка починається з фотографування, яке робиться, щоб досягти декількох цілей. По-перше, це елемент документального підтвердження для майбутніх кримінальних проваджень. По-друге, фото дозволяє легко перевірити «справжність» фактів, подій, матеріальних доказів. Вже класичний приклад виявлення фейків полягає в новинах російські ЗМІ про те, що військо ППО росії в районі міста Курськ нібито збили безпілотник «Баугактар», коли на фото користувачі побачили частину кністри для дизельної олії [21]. По-третє, фото зразка полегшує пошук аналогів, зокрема в мережі Інтернет.

Отже, процедуру ідентифікації зразка, яка полягає у порівнянні зразка з деяким еталоном, можна продемонструвати формулою

$$I \Rightarrow (ЗВ \vee М \vee Д), \quad (1)$$

тобто критеріями ідентифікації є зовнішній вигляд **ЗВ** зразка, його маркування **М** або наявність документації **Д** на зразок.

Таким чином, ідентифікація здійснюється:

- за зовнішнім виглядом – у випадку, коли спеціалісту (експерту) відомий зовнішній вигляд зразків ОВТ, що досліджуються, чи їх аналогів, або коли за допомогою пошукових web-сервісів чи спеціальних програмних продуктів можна розпізнати та знаходити образи зразків ОВТ або їх елементів;

- за маркуванням зразка (складових частин) – у випадку наявності на корпусі зразка або на його складових частинах маркувань;

– за документацією на зразок, якщо її вдалося отримати разом із зразком.

З метою покращення та пришвидшення ідентифікації зразка за зовнішнім виглядом його фото порівнюється з аналогами. Наведемо приклади ідентифікації за зовнішнім виглядом. Зокрема, за повідомленнями українських ЗМІ від 2-го квітня 2022 року [22, 23] на Київщині українські військовослужбовці захопили російську систему супутникового зв'язку. Перед цим 28 березня міноборони РФ опублікувало пропагандистський сюжет, де показано, як цю станцію розгортають російські зв'язківці (фото 1).



Фото 1. Російська система супутникового зв'язку

Зовнішній вигляд цієї системи ідентичний показаній на Міжнародному військово-технічному форумі «Армія-2020» у російській Кубинці станції супутникового зв'язку сімейства «Аурига» для використання у вантажному варіанті [24], яка стоїть на озброєнні армії РФ з 2014 року (фото 2).

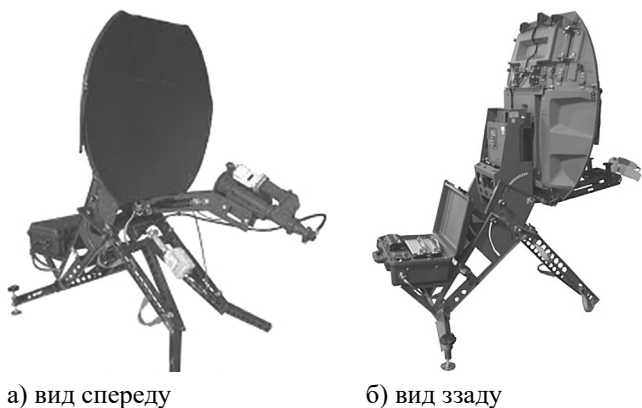


Фото 2. Станція супутникового зв'язку «Аурига»

Дослідники лабораторії цифрових кримінальних досліджень Digital Forensic Research Lab (DFRLab) Атлантичної ради, що здійснює наукову експертизу проблемних питань, дотичних до міжнародної безпеки, вже повідомляли про використання російського модулю супутникового зв'язку на території Донбасу, яка не контролюється урядом України [25].

Зокрема, 9 червня 2018 року в соціальній мережі «ВКонтакте» бойовик з Макіївки опублікував фото-

графії на тлі зеленої супутникової антени. В DFRLab порівняли зображення супутникової антени на фото із зображеннями задньої сторони системи Аурига-1,2В на фрегаті «Адмірал Ессен» Чорноморського флоту (фото 3) і виявили, що вони ідентичні. За твердженням дослідників, ця система ніколи не експортувалася до України та не використовувалася її збройними силами, тобто вона могла з'явитися на сході України лише з Росії.



Фото 3. Зовнішній вигляд антени станції «Аурига»

Ще один приклад ідентифікації за зовнішнім виглядом – результати аналізу захопленої російської радіостанції, яка показана на фото 4.



Фото 4. Загальний вигляд російської радіостанції в розібраному стані

На сайті російського журналу «Бастион. Военно-политические и военно-технические новости» можна побачити ідентичний зразок радіостанції Р-187П1 «Азарт», як видно з фото 5. Вона була показана на Міжнародному військово-технічному форумі «Армія-2019» у російській Кубинці [26].

Портативна радіостанція «Азарт» – розробка російського НВО «Ангстрем», що розташоване у м. Зеленоград. Незважаючи на те, що за повідомленнями російських ЗМІ радіостанція «Азарт» зібрана з комплектуючих вітчизняного виробництва, насправді після пошуку в Інтернеті порівняння складових елементів радіостанції з аналогами доводить, що більша частка мікросхем вироблялася компаніями США, Великої Британії, Китаю (фото 6).

Іноді ідентифікацію зразка зручно робити за маркуванням зразка, приклад якого наведений на фото 7. На одному з захоплених зразків радіоелектронної техніки



а) загальний вигляд у розібраному стані

б) вигляд у зібраному стані

Фото 5. Виставковий зразок радіостанції Р-187ПІ «Азарт»



Фото 6. Складові мікросхеми радіостанції «Азарт»

видно маркування виробу – Т-231-2А. Сайт російського Сарапульського радіозаводу повідомляє, що це шифр засекречувальної апаратури зв'язку для закриття з гарантованою стійкістю мовної інформації [27].

Документація на зразок ОВТ дозволяє пришвидшити ідентифікацію зразка ОВТ та з'ясування його призначення і характеристик, визначення виробника. Зокрема, на фото 8 наведений том документації на апаратуру МРК-15 УЗ2.517.009, заводський номер АД 0003, дата виготовлення 30.03.2014 р. З документації стає відомим, що цей зразок призначений для визначення координат та швидкості руху об'єкта за сигналами систем ГЛОНАСС і GPS. Виробник – Відкрите акціонерне товариство «Науково-виробниче підприємство «Радиосвязь», розташоване за адресою: 660021, м. Красноярськ, вул. Декабристів, буд. 19.

Після ідентифікації зразка шляхом пошуку інформації в Інтернет-ресурсах або завдяки аналізу отриманої документації здійснюється визначення назви, а також виявлення призначення та характеристик зразка.

Дослідження зразка ОВТ продовжується його розбиранням на окремі блоки, субблоки, плати або радіоелектронні елементи та їхньою ідентифікацією. Отже, вивчення зразка продовжується дослідженням елементної бази, процес якого, як і для зразка в цілому, починається з фотографування. Вивчення елементної бази відкриває

Т-231-2А – шифр зразка (апаратура засекречування каналів зв'язку)
163А-006634 – серійний номер зразка
ВА292 – шифр складової частини зразка (блок розподілу електроживлення 27В)
№ А00664 – серійний номер складової частини зразка

Т-231-2А – шифр зразка (апаратура засекречування каналів зв'язку)
163А-006634 – серійний номер зразка
РА-005ІІ – шифр складової частини зразка (комутатор)
№ А00323 – серійний номер складової частини зразка



Фото 7. Маркування складових частин виробу Т-231-2А

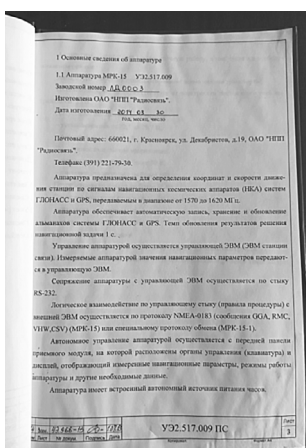
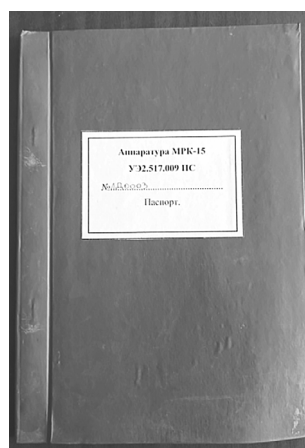


Фото 8. Приклад документації на зразок ОВТ

можливості більш глибокого дослідження усієї топології зразка ОВТ (засобу ураження) та визначення місця елемента за структурною ієрархією. При цьому виявляється децимальний або заводський номер, за яким за допомогою пошуку інформації на сайтах Інтернету в подальшому встановлюється тип, призначення, характеристики плати, електронного елемента, мікросхеми.

Крім цього, встановлюється виробник (виробники) та кооперація підприємств з розробки та виготовлення елементів у разі наявності такої. Дослідження друкованих плат здійснюється завдяки визначенню їх децимального номера, що дозволяє встановити організацію-розробника, виробника, кваліфікаційну характеристику та порядковий реєстраційний номер плати.

Слід зазначити, що децимальний номер присвоюється відповідно до вимог ГОСТ 2.201-80 Єдиної системи конструкторської документації (ЕСКД) кожному новому виробу, що розробляється, та його складовим частинам.

В загальному випадку, децимальний номер складається з десяти символів – чотирьох літер та шести цифр (рис. 2), але може містити ще й додаткову інформацію (порядковий реєстраційний номер та ін.).

	ЛІТЕРИ	ЦИФРОВА КОМБІНАЦІЯ
	XXXX.	XXXXXX. XXX
Код організації-розробника		
Код класифікаційної характеристики		
Порядковий реєстраційний номер		

Рис. 2. Позначення децимального номеру виробу

Літери – це код розробника. Цифрова комбінація – вид вузла відповідно до класифікатора ЕСКД. Літерний код організації-розробника російським підприємствам присвоюється Федеральним агентством по технічному регулюванню та метрології «Стандартинформ» (Федеральним державним унітарним підприємством «російський науково-технічний центр інформації по стандартизації, метрології і оцінці відповідності»). Проведення ідентифікації літерного коду організації-розробника дозволяє в подальшому швидко визначати та ідентифікувати підприємства при дослідженні інших зразків ОВТ або їх елементів.

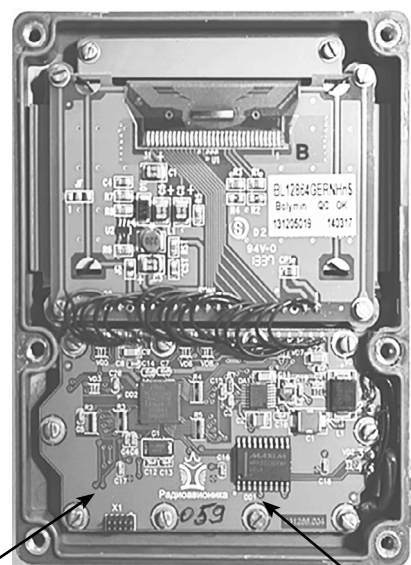
У випадку, коли зразок, що досліджується, складний та має складові частини різних виробників, ідентифікація цих виробників дозволяє визначити кооперацію підприємств зі створення даного зразка ОВТ та може бути використана для проведення заходів (введення санкцій) з порушення цієї кооперації. При ідентифікації підприємств-розробників ОВТ слід також вивчати технічну та іншу документацію, здобуту разом зі зразками, яка може містити інформацію про виробника.

Так, при дослідженні радіостанції «Намотка-КМ», зі змісту пакувального листка визначено виробника радіостанції (АТ «Сарапульський радіозавод», код розробника – МКСИ), її склад та децимальні номери складових частин. При цьому приймач ГЛОНАС (МКСИ.468733.018) зі складу радіостанції містить друковану плату з універсальними приймачами сигналів GPS, ГЛОНАС та Galileo з децимальним номером ЦВИЯ.434815.058-03 (фото 9), виготовлену ТОВ «Іжевський радіозавод» [28]. Таким чином, встановлена кооперація між АТ «Сарапульський радіозавод» та ТОВ «Іжевський радіозавод» при виготовленні радіостанцій «Намотка-КМ».

Дослідження електронних компонентів ґрунтується на аналізі маркувань інтегральних мікросхем (або інших електронних компонентів) та технічної документації до них (data sheet).

Розглянемо маркування інтегральних мікросхем на прикладі мікросхеми на фото 9. Воно несе в собі інформацію про функціональне призначення мікросхеми та деякі її властивості.

Маркування дозволяє однозначно визначити призначення мікросхеми. Слід зазначити, що наведені нижче правила розшифровки маркувань є справедливими для більшості мікросхем іноземного виробництва. Зокрема,



«Радиоавионика» –
виробник друкованої плати

431266.044 –
код класифікаційної
характеристики

ЦВИЯ.434815.058-03 –
децимальний номер друкованої плати

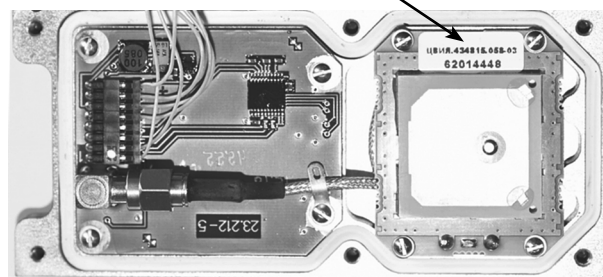


Фото 9. Маркування друкованих плат

на фото 10 для прикладу наведений зовнішній вигляд мікросхеми CD74HC08E, а на рис. 3 – розшифровка її маркування.

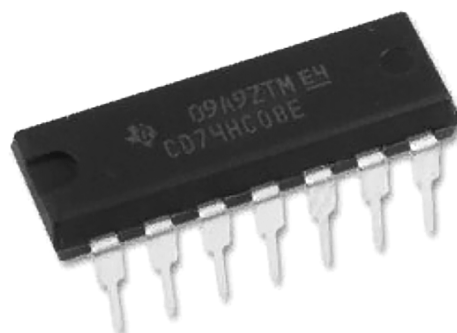


Фото 10. Інтегральна мікросхема Texas Instruments



Рис. 3. Маркування мікросхеми CD74HC08E

Перші літери перед числами позначають виробника мікросхеми. Під «CD» зашифровано виробника мікросхем – Texas Instruments. Для прикладу вкажемо аббревіатуру ще кількох виробників: MT-Micron Technology, MAX-Maxim. Також виробники визначаються за логотипом, який наноситься на передній панелі мікросхеми графічним символом. Наведемо таблицю виробників електронних компонентів та їх логотипи (графічні символи) для маркування (рис. 4).

Далі в маркуванні вказуються 1–2 цифри, що характеризують модель (серію) мікросхем. У нашому випадку – це 74 серія мікросхеми. Далі ідуть літери НС, які ідуть після числа, що відображають сімейство мікросхем та інформують про покоління мікросхеми.

Як і будь-які технічні вироби, мікросхеми постійно вдосконалюються, одне покоління змінює інше. При зміні поколінь насамперед поліпшується технологічний процес, яким мікросхема виробляється, але можуть проводитися зміни у схемотехніці. У сукупності ці зміни дозволяють робити мікросхеми нових поколінь більш швидкими та універсальними. Так от, буквосполучення СР означає, що мікросхема відноситься до покоління високошвидкісних КМОП-мікросхем (CMOS). Назва цього покоління – High Speed CMOS.

Після літерного позначення покоління мікросхеми є ще дві (або більше) цифри. Вони позначають конкретну модель мікросхеми із сімейства та характеризують її призначення. Ці цифри визначають тип (призначення) логічного елементу, наприклад, елемент «АБО», елемент «НЕ», елемент «І» чи якийсь інший. У нашому випадку йдуть цифри 08, що означає 4 логічні елементи типу «І».

Останнє буквосполучення вказує на тип корпусу мікросхеми. Нижче наведемо перелік буквених позначень, що відповідають різним типам корпусів.

	PDIP	DIP	TSSPO	SOIC	SO
шифр	E	N	PW	D	NS

При ідентифікації мікросхем доцільно використовувати технічну документацію до них (data sheet), розміщену на офіційних web-ресурсах фірм виробників. Ця технічна документація містить інформацію про функціональне призначення мікросхеми, варіанти корпусів, в яких вона може випускатися (з їх докладними кресленнями), можливі позначення, технології виробництва та ін. Розглянемо приклад розшифровки маркування інтегральних мікросхем, що є типовим, розглядаючи маркування мікросхеми фірми ATMEL, яка показана на фото 11.

Мікросхема AT28C256-15PI – це 8-розрядний високопродуктивний малопотужний мікроконтролер AVR на базі RISC, який поєднує в собі флеш-пам'ять ISP об'ємом 16 КБ, SRAM 1 КБ, EEPROM 512 Б, 8-канальний / 10-розрядний аналого-цифровий перетворювач (TQ QFN/ MLF) і debugWIRE для налагодження на кристалі. Пристрій підтримує пропускну здатність 20 MIPS при 20 МГц і працює в діапазоні від 2,7 до 5,5 В.

Якщо мікросхема містить логотип (графічні символи), можна легше знайти назву фірми-виробника. Деякі

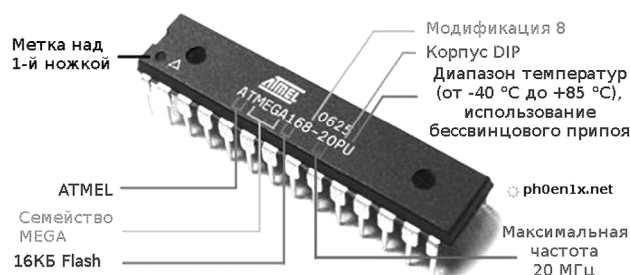


Фото 11. Інтегральна мікросхема AT28C256-15PI ATMEL

логотипи світових виробників електронних компонентів наведені на рис. 4.

Для отримання офіційного статусу всі виявлені відомості документуються. Крім цього, вони заносяться в електронну базу даних, що полегшує ідентифікацію зразків ОБТ та їхніх компонентів в майбутньому. Більш того, в базі даних накопичується інформація стосовно кількості плат та мікросхем однієї партії, знайдених в російських зразках ОБТ. Це потрібно, щоб з'ясувати, чи була поставка одиночною або оптовою. Із збільшенням кількості плат та мікросхем однієї партії зростає імовірність того, що закупка була оптовою, і потрібний запит на підприємство про обставини продажі партії. Вже опубліковані відомості щодо оснащення деяких російських ракет мікросхемами, які можна замовити через платформу AliExpress [29].

Таким чином, в статті розглянутий порядок дослідження радіоелементної бази зразків озброєння та військової техніки російської федерації, які попадали до рук захисників України в ході боїв на території держави. Методика включає процедури ідентифікації зразків та їх складових компонентів за визначеними критеріями ідентифікації, операції визначення найменування, призначення та характеристик зразка та його компонентів, операції виявлення виробника, встановлення назви підприємства та адреси офісу, а також місця розташування виробництва. Описано порядок маркування друкованих плат та інтегральних мікросхем, наведено логотипи (графічні символи) світових виробників електронних компонентів.

Відомості, що наведені в статті, можуть полегшити та пришвидшити в майбутньому визначення призначення радіоелектронних елементів та пошук виробників цих компонентів дослідникам зразків ОБТ, які займаються подібною роботою.

На рис. 5 надана загальна схема досліджень зразків російського ОБТ та їхніх радіоелектронних компонентів.

ВИСНОВКИ

1. Дослідницькі дії відповідно до наведеної методики дозволяють проводити ідентифікацію електронних компонентів трофейних зразків ОБТ російської федерації, їх елементів та складових частин з метою визначення найменування, призначення і технічних характеристик цих компонентів, виявлення виробників, а також кооперації підприємств. Ці відомості потрібні для надання доказів застосування саме російської техніки, озброєння та боеприпасів на території України. Крім того, визначення походження зразків ОБТ та виробників високотехноло-



Рис. 4. Логотипи світових виробників електронних компонентів

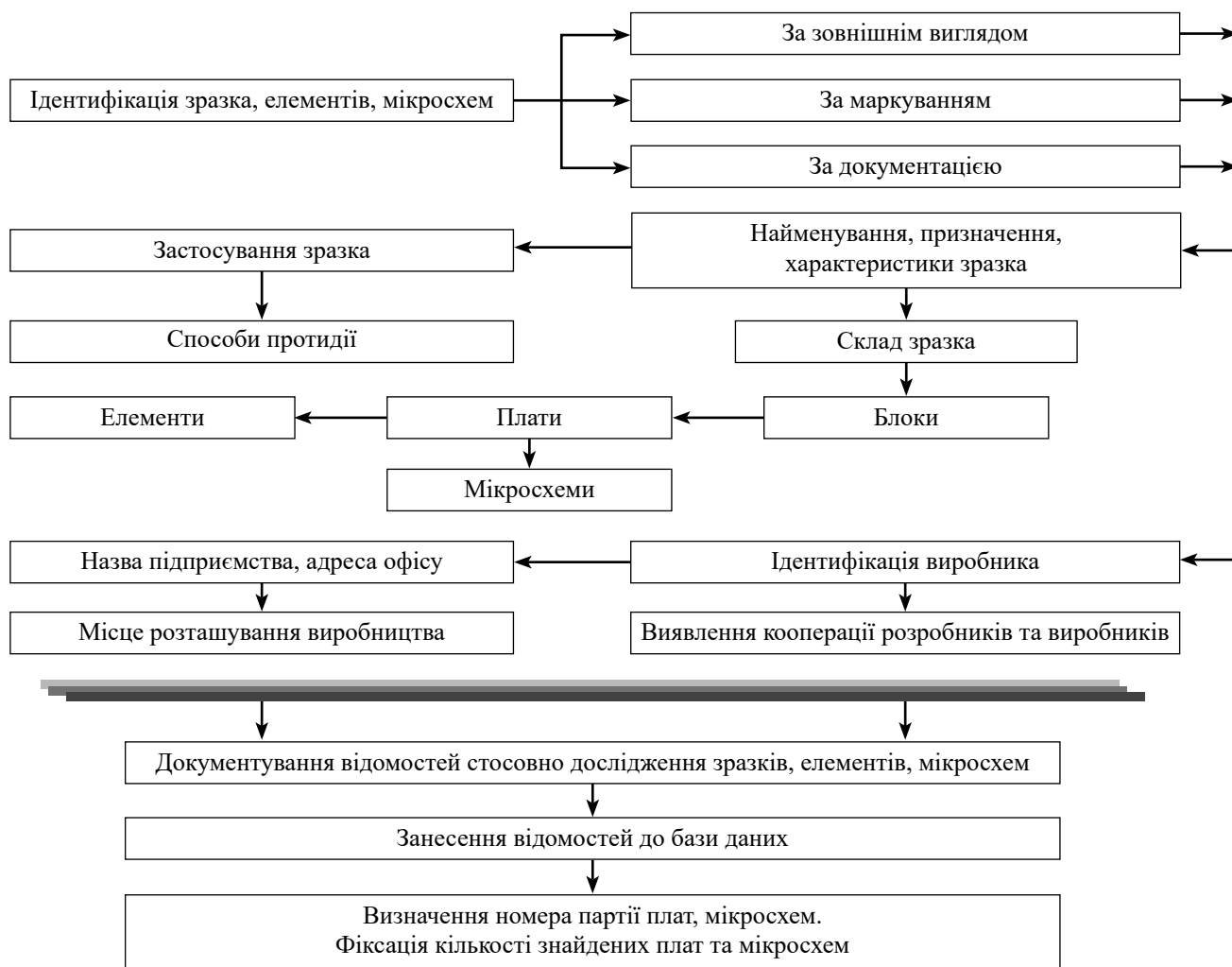


Рис. 5. Загальна схема дослідження радіоелементної бази зразків ОБТ

гічних комплектувальних елементів для виготовлення радіоелектронного обладнання необхідні для контролю за виконанням санкційних заходів проти російської федерації та виявлення фактів порушень санкцій з метою встановлення відповідних обмежень з постачання таких комплектувальних до країни-агресора та припинення постачання електронних компонентів до підприємств ОПК РФ.

2. Відомості стосовно параметрів, характеристик, особливостей та порядку застосування зразків ОБТ країни-агресора дозволяють передбачити заходи та розробити способи протидії цим зразкам під час бойових дій.

3. Вивчення переваг побудови та досвіду використання трофейних зразків надає можливість використати результати дослідження з метою виконання декількох завдань:

- отримання необхідного досвіду щодо використання сучасної елементної бази іноземного походження у перспективних зразках техніки для потреб ЗС України;
- розроблення аналогічних за конструктивним виконанням технічних рішень для вітчизняного ОПК і створення необхідних перспективних виробів для потреб ЗС України.

4. За результатами досліджень пропонується створити базу даних досліджених зразків ОБТ, де буде накопичуватися інформація стосовно зразків, їх компонентів, їхньо-

го призначення та характеристик, а також підприємств-виробників.

5. Кількість радіоелектронних елементів однієї партії збільшує імовірність того, що закупка цих елементів була оптовою, що дозволяє краще контролювати та виявляти факти порушення санкційних заходів проти росії.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. У Лондоні проходять слухання у справі про смерть Литвиненка. LB.ua. 21 вересня 2012 р. https://lb.ua/world/2012/09/21/171323_londone_prohodyat_slushaniya_delu.html.
2. Росія в ООН виступила з погрозами і звинуваченнями проти Британії. Українська правда. 6 квітня 2018 р. <https://www.pravda.com.ua/news/2018/04/6/7176914/>.
3. Британія назвала причини, чому підозрює РФ в отруєнні Скрипалів. Українська правда. 6 квітня 2018 р. <https://www.pravda.com.ua/news/2018/04/6/7176913/>.
4. Елизавета Фохт. Сходства и отличия российской реакции на отравление Литвиненко и Скрипаля. Русская служба Би-би-си. 13 березня 2018 р. <https://www.bbc.com/russian/features-43389222>.
5. Костянтин Еггерт. Дипломатична катастрофа Путіна. Deutsche Welle. 27 березня 2018 р. <https://www.dw.com/uk/коментар-дипломатична-катастрофа-путіна/a-43151671>.

6. Отравление Сергея Скрипаля: что говорят в Москве и Лондоне. Русская служба Би-би-си. 6 марта 2018 р. <https://www.bbc.com/russian/features-43301864>.
7. Журналисты обнаружили следы российских войск ПВО у границы с Украиной в день крушения МН17. Радио «Свобода». 6 червня 2019 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.svoboda.org/a/29984382.html>.
8. Ольга Бугоркова. Катастрофа МН17: как менялись версии российских СМИ. Русская служба Би-би-си. 28 сентября 2016 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bbc.com/russian/features-37496581>.
9. Евгения Маляренко. Минобороны опровергло выводы Нидерландов по сбитому МН17 «Буку». РБК. 24 травня 2018 р. Архівовано 25 травня 2018 р.
10. «Украинцы что, сами насилюют своих женщин и детей?» Что отвечал Би-би-си о войне посланник России в ООН Небензя. Русская служба Би-би-си. 9 червня 2022 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.bbc.com/russian/61740245>.
11. Олександр Демченко. Від «Боїнга» до Оленівки. Як росія заперечує результати розслідувань злочинів в Україні. Донбас. Реалії. 04 серпня 2022 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.radiosvoboda.org/a/boing-bucha-olenivka-russia-mariupol/31970882.html>.
12. Россия – государство-спонсор терроризма: примут ли США это решение и что это значит. ТСН. 28 липня 2022 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tsn.ua/ru/exclusive/rossiya-gosudarstvo-sponsor-terrorizma-primut-li-ssha-eto-reshenie-i-chto-eto-znachit-2121448.html>.
13. Комитет Сената принял резолюцию о признании России страной-спонсором терроризма. Русская служба «Голоса Америки». 23 червня 2022 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.golosameriki.com/a/us-senate-russia-state-resolution/6630607.html>.
14. Документування передових систем озброєння росії в Україні. Дослідження озброєння конфлікту. травень 2022 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://storymaps.arcgis.com/stories/19ca0782f2354c87b25972da7356f0e8>.
15. Жанна Вейлен. У збитих над Україною російських безпілотниках було повно західних частин. Чи можуть США відрізати їх? The Washington Post. 11 лютого 2022 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.washingtonpost.com/technology/2022/02/11/russian-military-drones-ukraine/>.
16. Зафіксовано першу втрату нового російського безпілотника «Ластівка-М». Фокус. 20 липня 2022 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://focus.ua/uk/voennye-novosti/522724-zafiksirovana-pervaya-poterya-novo-rossiyskogo-bespijlotnika-lastochka-m-video>.
17. Сильвия Штёбер. Німецькі двигуни в російських безпілотниках. Дослідження застосування зброї. Tagesschau. 05.11.2021 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tagesschau.de/investigativ/russland-dronen-bauteile-deutschland-101.html>.
18. У збитих російських БПЛА на Донбасі використовуються німецькі двигуни – CAR. Фокус. 09 листопада 2021 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://focus.ua/uk/voennye-novosti/497473-v-sbityh-rossiyskih-bpla-na-donbasse-ispolzuyutsya-nemecky-dvigateli-car-foto>.
19. Жанна Вейлен. США з'ясовують, як американська електроніка опинилася в російському військовому спорядженні. The Washington Post. 15 червня 2022 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.washingtonpost.com/world/2022/06/15/us-computer-chips-russian-military/>.
20. Жанна Вейлен. Індустрія комп'ютерних мікросхем починає припиняти поставки до росії у відповідь на санкції США. The Washington Post. 25 лютого 2022 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.washingtonpost.com/technology/2022/02/25/ukraine-russia-chips-sanctions-tsmc/>.
21. Украинская летающая канистра: очередной фейк российских СМИ. TOP News Україна. Новини Дніпра. 26.04.2022 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://top-news.com.ua/mista/dnipro/ukraynskaya-letayushhaya-kanysta-ocherednoj-fejk-rossijskyh-smj/>.
22. Українські військові захопили новітню російську систему супутникового зв'язку «Аурига-1.2В». Армія Inform. 2 квітня 2022 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://armyinform.com.ua/2022/04/02/ukrayinski-vijskovi-zahopyly-novitnyu-rosijsku-systemu-suputnykovogo-zvyazku-auriga-1-2v/>.
23. Дарья Дурова. ВСУ захватили новейшую российскую портативную систему связи «Аурига-1.2В». Фото. Obozrevatel. 2.04.2022 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://news.obozrevatel.com/vojna-v-ukraine/vsu-zahvatili-noveyshuyu-rossiyskuyu-portativnuyu-sistemu-svyazi-auriga-1-2v-foto.htm>.
24. Военно-технический сборник «Бастион». Журнал оборонно-промышленного комплекса. Станция спутниковой связи семейства «Аурига» на форуме «Армия-2020». 26 грудня 2020 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:8JGjc33_o6IJ:foto-i-mir.ru/r-448m-auriga/+&cd=9&hl=ru&ct=clnk&gl=ua ВТС «БАСТИОН» А.В. Karpenko.
25. На Донбасі виявили новітню російську систему зв'язку. РБК-Україна. 15 жовтня 2018 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rbc.ua/rus/news/donbasse-obnaruzhili-noveyshuyu-rossiyskuyu-1539583722.html>.
26. Военно-технический сборник «Бастион». Журнал оборонно-промышленного комплекса. Радиостанция Р-187П1 АЗАРТ. ВТС «БАСТИОН» А.В. Karpenko. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://foto-i-mir.ru/radio-r-187p1-azart/>.
27. Акционерное общество Сарапульский радиозавод. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://srzudm.ru/index.php/20-kategoriya-izdelij/sredstva-svyazi/svyaz/radiosredstva-kompleksa-akveduk>.
28. Военно-технический сборник «Бастион». Журнал оборонно-промышленного комплекса. Портативная радиостанция «Намотка-КС». ВТС «БАСТИОН» А.В. Karpenko. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bastion-karpenko.ru/radio-namotka-ks/>.
29. Російські «високоточкові» ракети виявилися напханими дешевою електронікою з AliExpress. Фокус. 04 серпня 2022 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://focus.ua/uk/digital/524392-v-rossiyskih-analogah-raket-himars-primenili-mikroshemy-s-aliexpress-chem-eto-grozit>.

REFERENCES

1. "U Londoni prokhodiat slukhannia u spravi pro smert Lytvynenka" [In London, there is a hearing from the police about the death of Litvinenko], September 21, 2012. LB.ua. Available at: https://lb.ua/world/2012/09/21/171323_londone_prohodyat_slushaniya_delu.html.
2. "Rosiiia v OON vystupyla z pohrozamy i zvynuvachenniamy proty Brytanii" [Russia made threats and accusations against Britain], Ukrainian Pravda. April 6, 2018. Available at: <https://www.pravda.com.ua/news/2018/04/6/7176914>.
3. "Brytaniia nazvala prychny, chomu pidozryuye rf v otruyenni Skrypaliv" [Britain named the reasons why it suspects the russian federation of poisoning the Skripals], April 6, 2018. Ukrainian Pravda. Available at: <https://www.pravda.com.ua/news/2018/04/6/7176913/>.
4. Elizabeth Focht. "Skhodstva i otlchiia rossiiskoi reaktsii na otravlenie Litvinenko i Skripalia" [Elizabeth Focht. Similarities and differences between the russian reaction to the poisoning of Litvinenko and Skripal], March 13, 2018. BBC russian Service. Available at: <https://www.bbc.com/russian/features-43389222>.
5. "Konstantin Yeggert. "Dyplomatychna katastrofa putina" [Konstantin Yeggert. Putin's diplomatic disaster], March 27, 2018. Deutsche Welle. Available at: <https://www.dw.com/uk/коментар-дипломатична-катастрофа-путіна/a-43151671>.
6. "Otravlenie Sergeia Skripalia: chto govoriat v Moskve i Londone" [Poisoning of Sergei Skripal: what they say in Moscow and London], March 6, 2018. BBC russian Service. Available at: <https://www.bbc.com/russian/features-43301864>.
7. "Zhurnalisty obnaruzhyli sledy rossiiskikh voisk PVO u granitsy s Ukrainoi v den krusheniia MH17" [Journalists found traces of russian air defense forces near the border with Ukraine on the day of the MH17 crash], June 6, 2019. Radio Liberty. Available at: <https://www.svoboda.org/a/29984382.html>.
8. Olga Bugorkova. "Katastrofa MH17: kak menyalis versii rossiiskikh SMI" [Olga Bugorkova. The MH17 disaster: how russian media versions have changed], September 28, 2016. BBC russian Service. Available at: <https://www.bbc.com/russian/features-37496581>.
9. Evgenia Malyarenko. "Minoborony oproverglo vyvody Niderlandov po sbivshemu MH17 «Buku»" [The Ministry of Defense denied the conclusions of the Netherlands on the downed MH17 «Buka»], Archived on May 25, 2018. RBC.
10. "«Ukraintsy chto, sami nasiluiut svoikh zhenshchin i detey?» Chto otvechal Bi-bi-si o voyne poslanik rossii v OON Nebenzya" [Are Ukrainians themselves raping their women and children? What did the russian envoy to the UN Nebenzya answer to the BBC about the war], June 9, 2022. BBC russian Service. Available at: <https://www.bbc.com/russian/61740245>.
11. Oleksandr Demchenko "Vid «Boinha» do Olenivky. Yak rosiia zaperechue rezultaty rozsliduvan zlochyniv v Ukraini" [From «Boeing» to Olenivka. How russia denies the results of investigations into crimes in Ukraine], August 4, 2022. Donbas Realities. Available at: <https://www.radiosvoboda.org/a/boing-bucha-olenivka-russia-mariupol/31970882.html>.
12. "Rossiia – gosudarstvo-sponsor terrorizma: primut li SSHA eto resheniye i chto eto znachit" [Russia is a state sponsor of terrorism: will the US make this decision and what does it mean], 28 July 22 p. TSN. Available at: <https://tsn.ua/ru/exclusive/rossiya-gosudarstvo-sponsor-terrorizma-primut-li-ssha-eto-reshenie-i-cto-eto-znachit-2121448.html>.
13. "Komitet Senata prinial rezolyutsiiu o priznanii rossii stranoi-sponsorom terrorizma" [The Senate Committee adopted a resolution recognizing russia as a state sponsor of terrorism], June 23, 2022. Russian service «Voice of America». Available at: <https://www.golosameriki.com/a/us-senate-russia-state-resolution/6630607.html>.
14. "Dokumentuvannia peredovykh system ozbroiennia rosi v Ukrayini. Doslidzhennia ozbroiennia konfliktu" [Documentation of advanced russian weapons systems in Ukraine. Research on conflict weaponry], May 2022. Available at: <https://storymaps.arcgis.com/stories/19ca0782f2354c87b25972da7356f0e8>.
15. Zhanna Whalen "U zbytykh nad Ukrainoiu rosiiskykh bezpilotnykh bulo povno zakhidnykh chastyn. Chy mozhut SSHA vidrizaty iikh?" [The russian drones shot down over Ukraine were full of Western parts. Can the US cut them off?], February 11, 2022. The Washington Post. Available at: <https://www.washingtonpost.com/technology/2022/02/11/russian-military-drones-ukraine/>.
16. "Zafiksovano pershu vtratu novoho rosiiskoho bezpilotnyka «Lastivka-M»" [The first loss of the new russian Lastivka-M drone was recorded], July 20, 2022. Fokus. Available at: <https://focus.ua/uk/voennye-novosti/522724-zafiksirovana-pervaya-poterya-novo-rossiyskogo-bespilotnika-lastochka-m-video>.
17. Sylvia Stöber "Nimetski dvyhuny v rosiiskykh bezpilotnykh. Doslidzhennia zastosuvannia zbroi" [German engines in russian drones. Study of the use of weapons], November 5, 2021. Tagesschau. Available at: <https://www.tagesschau.de/investigativ/russland-dronen-bauteile-deutschland-101.html>.
18. "U zbytykh rosiiskykh BPLA na Donbasi vykorystovuiutsia nimetski dvyhuny – CAR" [The downed russian UAVs in Donbas use German engines – CAR], November 09, 2021. Fokus. Available at: <https://focus.ua/uk/voennye-novosti/497473-v-sbityh-rossiyskih-bpla-na-donbasse-ispolzuyutsya-nemecky-dvigateli-car-foto>.
19. Zhanna Whalen "SSHA ziasovuyut, yak amerykanska elektronika opynylasia v rosiiskomu viiskovomu sporiadzhenni" [The US is investigating how American electronics ended up in russian military equipment], June 15, 2022. The Washington Post. Available at: <https://www.washingtonpost.com/world/2022/06/15/us-computer-chips-russian-military/>.
20. Zhanna Whalen. "Industriia kompiuternykh mikroskhem pochynaie prypyniaty postavky do rosiu u vidpovid na sanktsii SSHA" [The computer chip industry is beginning to cut off supplies to russia in response to US sanctions], February 25, 2022. The Washington Post. Available at: <https://www.washingtonpost.com/technology/2022/02/25/ukraine-russia-chips-sanctions-tsmc/>.
21. "Ukrainskaia letaiushchaia kanistra: ocherednoi feik rosiiskykh SMI" [Ukrainian flying canister: another fake russian media], April 26, 2022. TOP News Ukraine. News

- of Dnipro. Available at: <https://top-news.com.ua/mista/dnipro/ukraynskaya-letayushhaya-kanystra-ocherednoj-fejk-rossyjskyh-smy/>.
22. "Ukraiinski viiskovi zakhopyly novitniu rosiiskiu systemu sputnykovoho zviazku «Auriga-1.2B»" [The Ukrainian military seized the latest russian satellite communication system «Auriga-1.2B»], April 2, 2022. Army Inform. Available at: <https://armyinform.com.ua/2022/04/02/ukrayinski-vijskovi-zahopyly-novitnyu-rosijsku-systemu-sputnykovogo-zvyazku-auriga-1-2v/>.
 23. Daria Durova "VSU zakhvatili noveishuiu rosiiskuiu portativnuiu systemu svyazi «Auriga-1.2B»" [The Armed Forces of Ukraine have captured the latest russian portable communication system «Auriga-1.2B»]. Photo. Obozrevatel. April 2, 2022. Available at: <https://news.obozrevatel.com/vojna-v-ukraine/vsu-zahvatili-novejshuyu-rossijskuyu-portativnyu-systemu-svyazi-auriga-1-2v-foto.htm>.
 24. "Voienno-tekhnicheskii sbornik «Bastion». Zhurnal oboronno-promyshlennogo kompleksa. Stantsiia sputnikovoï svyazi semeistva «Auriga» na forume «Armiya-2020»" [Military-technical collection «Bastion». J. of the military-industrial complex. Satellite communication station of the Auriga family at the Army-2020 forum], December 26, 2020. VTS «BASTION» A.V. Karpenko. Available at: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:8JGjc33_o6IJ:foto-i-mir.ru/r-448m-auriga/+&cd=9&hl=ru&ct=clnk&gl=ua.
 25. "Na Donbasi vyavyly novitniu rosiiskiu systemu zviazku" [The newest russian communication system was discovered in Donbas], October 15, 2018. RBC-Ukraine. Available at: <https://www.rbc.ua/rus/news/donbasse-obnaruzhili-noveyshuyu-rossiyskuyu-1539583722.html>.
 26. "Voienno-tekhnicheskii sbornik «Bastion»" [Military-technical collection «Bastion»]. J. of the military-industrial complex. Radio station R-187P1 AZART]. VTS «BASTION» A.V. Karpenko. Available at: <http://foto-i-mir.ru/radio-r-187p1-azart/>.
 27. "Aksionernoie obshchestvo Sarapulskii radiozavod" [Joint Stock Company Sarapul Radio Plant]. Available at: <http://srzudm.ru/index.php/20-kategoriya-izdelij/sredstva-svyazi/svyaz/radiosredstva-kompleksa-akveduk>.
 28. "Voienno-tekhnicheskii sb. «Bastion»" [Military-technical coll. «Bastion»], Defence-industri complex J. Portable radiostation «Namotka-KS» VTS «BASTION» A.V. Karpenko. Available at: <http://bastion-karpenko.ru/radio-namotka-ks/>.
 29. "Rosiiski «vysokotochkovi» rakety vyavylysia napkhanymy deshevoiu elektronikoïu z AliExpress" [Russian «high-precision» rockets turn out to be stacked with cheap electronics from AliExpress], August 4, 2022. Fokus. Available at: <https://focus.ua/uk/digital/524392-v-rossiyskih-analogah-raket-himars-primenili-mikroshemy-s-aliexpress-chem-eto-grozit>.

Kovbasiuk O., Kostyna O., Bashkyrov O., Onykienko L.

RESEARCH METHODOLOGY OF RADIOELECTRONIC COMPONENTS OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT SAMPLES OF THE RUSSIAN FEDERATION

Conducting studies of constituent components of weapons and military equipment of the armed forces of the russian federation is caused by the need to produce evidence of the use of russian weapons in the armed conflict against Ukraine, as well as to provide evidence of the use of foreign components in allegedly «russian» samples of weapons and military equipment. Since for many years russia refused to recognize not only its participation in the war in Eastern Ukraine, but also the fact of supplying weapons and military equipment to illegal armed formations in the temporarily occupied territories in the Donetsk and Luhansk regions, the criminal proceedings against the aggressor country require clear evidence of the use of russian equipment, weapons and ammunition on the territory of Ukraine. In addition, control over the implementation of sanctions measures against the russian federation requires determining the origin of constituent elements, especially components of radioelectronic equipment. The article describes the research methodology of the radioelement base of samples of weapons and military equipment of the russian federation, which was found after the battles in Ukraine. The methodology includes procedures for identifying samples and their components, determining the name, purpose and characteristics of the sample, purpose and characteristics of radioelectronic components, identifying the manufacturer, the name and address of the enterprise office, determining the cooperation of enterprises for the development and manufacture of the weapons and military equipment sample and its electronic components, as well as the location of production. The collected information will form a database on the used russian weapons.

Keywords: armed aggression against Ukraine, weapons and military equipment of the russian federation, research of the samples of weapons and military equipment that are being used against Ukraine, product identification, the name and purpose of the sample, characteristics of the sample, identification of radioelectronic components of weapons and military equipment, purpose and characteristics of radioelectronic components, origin of radioelectronic equipment.

Відомості про авторів:**Ковбасюк Олександр Васильович**

кандидат технічних наук
начальник науково-дослідного відділу Центрального
науково-дослідного інституту озброєння та військової
техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2481-2877>
e-mail: kow_77@ukr.net

Костина Олег Миколайович

кандидат військових наук, доцент
старший науковий співробітник науково-дослідного
управління Центрального науково-дослідного інституту
озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-1469-9580>
e-mail: kostynaoleg@gmail.com

Башкиров Олександр Миколайович

кандидат технічних наук, доцент
провідний науковий співробітник науково-дослідного
управління Центрального науково-дослідного інституту
озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9444-0653>
e-mail: bashkyrov1958@gmail.com

Оникієнко Людмила Сергіївна

науковий співробітник науково-дослідного управління
Центрального науково-дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2312-583X>
e-mail: ludmilaonikienko@ukr.net

Information about the authors:**Oleksandr Kovbasiuk**

Candidate of Technical Sciences
Head of Department of Central Scientific Research Institute
of Armament and Military Equipment of Armed Forces of
Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2481-2877>
e-mail: kow_77@ukr.net

Oleg Kostyna

Candidate of Military Sciences, Associate Professor
Senior Researcher of Central Scientific Research Institute
of Armament and Military Equipment of Armed Forces of
Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-1469-9580>
e-mail: kostynaoleg@gmail.com

Oleksandr Bashkyrov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Leading Researcher of Central Scientific Research Institute
of Armament and Military Equipment of Armed Forces of
Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9444-0653>
e-mail: bashkyrov1958@gmail.com

Liudmyla Onykienko

Researcher 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/0000-0002-2312-583X>
e-mail: ludmilaonikienko@ukr.net

УДК 621.391.8+621.396

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2022.4\(36\).68-78](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2022.4(36).68-78)

А. В. БІЛЕЦЬКА, кандидат філософських наук
<https://orcid.org/0000-0002-0178-0542>

С. Д. ЗІБІН, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>

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)

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ ТА ТЕХНІКИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ

Розглянуто основні поняття радіоелектронної боротьби, які існують на сучасному етапі розвитку Збройних Сил передових держав світу, коло військових завдань, які вирішуються за допомогою радіоелектронних систем. Сформульовано основні аспекти загальної проблеми розвитку радіоелектронної боротьби. Розглянуто загальні тенденції та напрямки розвитку вітчизняних і закордонних засобів радіоелектронної боротьби, врахування яких може вирішити проблеми, які визначено.

Ключові слова: радіоелектронна боротьба, радіоелектронне подавлення, радіоелектронний захист, радіоелектронна розвідка, радіо-, радіотехнічний контроль, радіокерований вибуховий пристрій.

ВСТУП

Збройні конфлікти останніх десятиріч, в тому числі і відкритий воєнний напад росії за підтримки білорусі на Україну, початий 24 лютого 2022 року, свідчать про те, що в сучасних операціях і бойових діях досягнення успіху в значній мірі залежить від ефективного застосування усіх видів озброєння та військової техніки, а це в значній мірі залежить від стійкої роботи систем управління військами та зброєю, технічну основу яких складають радіоелектронні системи. При цьому коло військових завдань, які вирішуються за допомогою радіоелектронних систем, дуже широке: ведення комплексної технічної розвідки; підготовка інформації і рекомендацій для прийняття рішень командирами на ведення бойових дій; передача даних, повідомлень, команд та сигналів управління військам; забезпечення навігації; наведення (самонаведення) засобів ураження та їх підризу; захисту військових об'єктів і військ від розвідки та засобів ураження і вирішення інших завдань [1–3]. У теперішній час в збройних силах (ЗС) передових країн світу ведуться інтенсивні роботи щодо удосконалення і пошуку нових методів та засобів боротьби з радіоелектронними системами противника та захисту своїх радіоелектронних систем, тобто веденню

РЕБ в широкому електромагнітному спектрі. В арміях провідних країн світу значення РЕБ трактується як дії військ по використанню електромагнітної енергії та засобів направленої енергії в цілях здійснення управління випромінюванням електромагнітного спектру частот або впливу на особовий склад, радіоелектронні системи та засоби, об'єкти, озброєння та військову техніку [4]. Метою РЕБ в операціях нового типу є позбавлення систем бойового управління противника можливості використання інформації про дії своїх військ та дії військ противника, забезпечення випередження противника в прийнятті оперативних рішень та підвищення ефективності ведення бойових дій, зниження людських та матеріальних втрат, успішне завершення операцій в стислий термін [5]. Відповідно до керівних документів Збройних Сил України основною метою застосування засобів радіоелектронної боротьби в операціях угруповання військ (сил) є: створення умов для найбільш ефективного застосування своїх військ (сил) в операціях (бойових діях) за рахунок дезорганізації систем управління противника, забезпечення стійкої роботи своїх радіоелектронних систем та засобів управління військами і зброєю шляхом зниження можливостей щодо ведення противником радіоелектронної розвідки, радіоелектронного подавлення і вогневого ураження, а також захисту від взаємних перешкод. Радіоелектронна боротьба містить: дезорганізацію управління військами (силами) противника, радіоелектронний захист (РЕЗт) своїх систем і засобів управління військами та зброєю. Вирішення цих завдань неможливе без створення відповідних засобів та техніки РЕБ. Виходячи з цього, необхідно сформулювати концептуальні погляди на розвиток засобів РЕБ відповідно до поставленої мети їх застосування в операціях військ (сил). При цьому сучасні погляди на радіоелектронну протидію РЕЗ свідчать про те, що окрім традиційної постановки радіоперешкод (тимчасового порушення роботи РЕЗ), перспективними є дії, пов'язані з довготерміновим (або повним) виведенням з ладу РЕЗ (силове або функціональне ураження). Все це обумовлює зростання ролі РЕБ у збройній боротьбі. Прагнення домогтися позитивного результату в цьому протиборстві є рушійною силою, з одного боку, розвитку технологій створення нових зразків озброєння та військової техніки (ОВТ), насамперед, у галузі радіоелектроніки, а з іншого боку, розвитку й удосконалення військового мистецтва, форм та способів застосування озброєння та військової техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій за напрямком розвитку РЕБ та засобів радіоелектронного подавлення (РЕП) розглянуто в роботах [2–9].

Тendenції забезпечення багатофункціональності засобу РЕБ з інтеграцією декількох функціоналів розглянуто в роботах [9, 12]. Розвиток засобів РЕП сучасних багатоканальних систем зв'язку розглянуто в роботі [11]. Питання розвідки засобів РЕБ з роботизованими платформами розглянуто в роботі [13]. Тенденцію розвитку безпілотних літальних апаратів (БпЛА) РЕБ, які призначені для дезорганізації управління військами противника в тактичній ланці, розглянуто в роботі [13]. Питання РЕП у рамках радіоелектронного захисту розглянуто в роботі [3]. Необхідність вирішення захисту угруповань механі-

зованих військ розглянуто в роботі [12]. Ведення РЕБ, як радіoeлектронної блокади, розглянуто в роботі [13]. Питання використання автоматизованих систем управління (АСУ) радіoeлектронної розвідки (РЕР) та РЕБ розглянуто в роботі [12]. Розвиток засобів РЕБ з оптико-електронними та радіолокаційними системами управління високоточною зброєю (ВТЗ) засобів повітряного нападу (ЗПН) розглянуто в роботах [6, 11]. Розвиток систем і засобів РЕБ індивідуального та групового захисту літаків розглянуто в роботі [10]. Розвиток корабельних систем і засобів РЕБ розглянуто в роботі [11]. Розвиток навчально-тренувальних та програмно-імітаційних засобів розглянуто в роботах [6]. Питання завадозахищеності та завадостійкості радіoeлектронних засобів різного функціонального призначення розглянуто в роботі [13]. Тенденції розвитку засобів електромагнітної зброї функціонального ураження розглянути в роботах [14, 15].

Метою статті є, по-перше, визначення загальних тенденцій та напрямків розвитку засобів РЕБ в контексті загальних тенденцій розвитку ОБТ, а по-друге, позначення основних шляхів удосконалення системи ОБТ радіoeлектронної боротьби.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Узагальнений аналіз розвитку засобів РЕБ збройних сил передових держав світу дозволяє виявити такі основні тенденції та напрямки їхнього розвитку: розвиток засобів дезорганізації військ (сил) противника; розвиток засобів захисту військ (сил) і об'єктів від ураження керованою зброєю; розвиток засобів та комплексів радіо-, радіотехнічного контролю; розвиток навчально-тренувальних та програмно-імітаційних засобів.

Розвиток засобів дезорганізації управління військами (силами) противника шляхом радіoeлектронного подавлення (РЕП) радіoeлектронних засобів містить:

- розвиток багатофункціональних засобів РЕБ для забезпечення десантних та спеціальних операцій, операцій об'єднань СВ, а також мобільних дій;
- розвиток засобів РЕБ з роботизованими платформами ОБТ наземного, повітряного та морського базування (UGV, UAV, USV);
- розвиток безпілотних літальних апаратів РЕБ;
- розвиток малогабаритних та одноразових передавачів перешкод, що окремо закидаються.

Розвиток засобів захисту військ і об'єктів від ураження керованою зброєю містить:

- розвиток засобів РЕБ з системами управління ВТЗ;
- розвиток засобів РЕБ групового захисту авіації;
- розвиток засобів РЕБ групового та індивідуального захисту авіації;
- розвиток засобів групового та індивідуального радіoeлектронного захисту бронетанкового озброєння та техніки (БТОТ), автомобільної техніки від ураження радіокерованими вибуховими пристроями (RCIED);
- розвиток засобів групового та індивідуального радіoeлектронного захисту БТОТ від засобів вогневого ураження, в тому числі, високоточних;
- розвиток засобів захисту військ та об'єктів від ураження артилерійськими боєприпасами з радіопідривачами.

Розвиток засобів дезорганізації військ (сил) противника

Починаючи з нового століття, відстежується тенденція забезпечення багатофункціональності засобів РЕБ з інтеграцією декількох функціоналів (рис. 1) [9, 12], які раніше жодним чином не поєднувались, наприклад, радіoeлектронного подавлення з радіoeлектронним захистом від ураження радіокерованими вибуховими засобами та засобами з оптико-електронною системою управління (комплекс РЕБ «Інфауна», рф), або, наприклад, радіoeлектронного подавлення з радіо- та радіотехнічним контролем, а також з імітацією роботи РЕЗ (комплекс РЕБ «Леер-2», рф), або радіoeлектронного подавлення різних за функціональним призначенням РЕЗ, таких, наприклад, як РЕЗ систем супутникового зв'язку, РЕЗ радіонавігації, РЕЗ стільникового та транкингового зв'язків (комплекс РЕБ «Діабазол», рф; станція завад AN/MLQ-40, США).

Актуальність та затребуваність мобільних дій, десантних та спеціальних операцій у локальних війнах та збройних конфліктах сучасності вимагають відповідного розвитку багатофункціональних засобів РЕБ для їхнього забезпечення (рис. 1) (комплекси РЕБ «Інфауна», «Леер-2», «Діабазол», Р-934 (рф)).

Сучасний етап розвитку збройних сил передових держав світу характеризується пріоритетним розвитком засобів зв'язку та передачі інформації, що якісно змінюють рівень інформаційного забезпечення бойових дій за рахунок підвищення оперативності значних обсягів інформації, яка отримується. Це забезпечується шляхом переважного розвитку сучасних багатоканальних систем передачі інформації і вимагає відповідного розвитку засобів РЕБ із такими системами (рис. 2) [11]. Забезпечення можливості радіoeлектронного подавлення багатоканальних РЕЗ зв'язку та передачі інформації, які використовують дискретні широкопasmові сигнали, зокрема, сигнали з програмною перебудовою робочої частоти, реалізовано в сучасних комплексах РЕБ «Мандат-Б1Е», «Сокіл», СПС-1 (Україна); «Мандат-2001», РБ-301 «Борисоглебск-2» (рф); станціях завад AN/MLQ-40(V)3 (США) [9, 15].

Комплекси радіoeлектронної боротьби повітряного базування оснащено дистанційно пілотованими або безпілотними літальними апаратами (БпЛА), які ще недавно були екзотикою. Нині без них не обходиться жоден збройний конфлікт, в якому беруть участь збройні сили розвинених держав світу. Широке впровадження подібних комплексів добре вписується в концепцію підвищення автоматизації збройних сил і збереження особового складу.

Тому можна стверджувати, що в останні десятиріччя відстежується тенденція розвитку безпілотних літальних апаратів РЕБ (БпЛА РЕБ). БпЛА РЕБ призначено для дезорганізації управління військами противника в тактичній ланці шляхом постановки завад наземним РЕЗ зв'язку та передачі інформації противника. До них, наприклад, можна віднести такі БпЛА РЕБ: MQ-9 (США); «Мошکار» й «Мошкарец» (рф) (рис. 1) [13].

Досвід застосування військових контингентів збройних сил багатьох держав світу, у т. ч. України, під час



Рис. 1. Засоби дезорганізації військ противника за напрямом розвитку багатофункціональних засобів РЕП, засобів РЕП багатоканальних систем передачі інформації, засобів РЕП з роботизованими платформами

проведення міжнародних миротворчих та інших операцій дозволяє стверджувати про розвиток засобів РЕБ у напрямку розвитку засобів багатофункціональних переносних передавачів перешкод (рис. 2) [10, 11] (РП-377УВМ2 (рф); легкий переносний комплекс електронної протидії Lightweight Counter-Measures Suite, (LCS, Великобританія); малогабаритні передавачі завад ELTA-20 виробництва ELTA Corporation (Франція [13, 14]), переносний передавач перешкод EJAB компанії Elbit Systems (Ізраїль).

Для реалізації такої ефективної форми ведення РЕБ, як радіоелектронна блокада, широкого розвитку набули передавачі завад одноразового використання (рис. 2) [13]. Ці засоби застосовуються для вирішення завдання дезорганізації управління військами й зброєю, як правило, у тактичній ланці. Цілями радіоелектронного подавлення для передавачів завад одноразового використання можуть бути: засоби зв'язку, радіолокаційні засоби артилерії та протиповітряної оборони (ППО). Для застосування таких передавачів в окремих зонах (районах) в залежності від їхнього конструктивного виконання застосовують відповідні засоби доставки: засоби артилерії та залпового вогню (для передавачів завад, які вмонтовано у відповідні боєприпаси), літаки та вертольоти (для викидання

їх із парашутом або без), а також диверсійно-розвідувальні групи. Зазначимо, що не всі держави світу мають технології виробництва надвисокошвидкісної радіоелектронної схемотехніки, які здатні забезпечити під час пострілу навантаження на радіоелектронні компоненти в 1000 g та більше ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$).

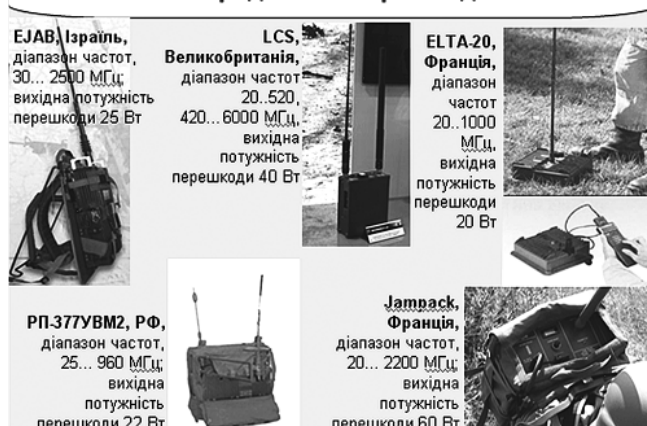
Розвиток засобів захисту військ (сил) і об'єктів від ураження керованою зброєю

Одним із пріоритетних питань під час ведення бойових дій та забезпечення операцій є першочергове вирішення завдань радіоелектронного подавлення бортових засобів управління зброєю літаків стратегічної та тактичної авіації, а також бортових РЛС літаків розвідувально-ударних комплексів та дальнього радіолокаційного виявлення й управління, багатофункціональних РЛС крилатих ракет наземного, повітряного та морського базування, які беруть участь у нанесенні авіаційних ударів по об'єктах (військах), що прикриваються. Важливість вирішення таких завдань обумовлює розвиток засобів РЕБ з оптико-електронними та радіолокаційними системами управління ВТЗ ЗПН (рис. 3) [12, 13, 15]. Для захисту військ та об'єктів від ураження такими системами призначений комплекс СПЕ-1, який успішно пройшов державні випробування та прийнятий на озброєння. У рф на заміну застарілим зразкам стан-

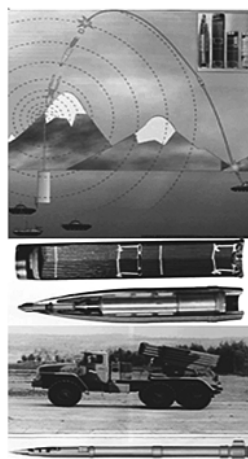
Розвиток безпілотних літальних апаратів РЕБ



Розвиток багатофункціональних переносних передавачів перешкод



Розвиток передавачів перешкод одноразового використання/ ППОВ (РЕП радіозв'язку тактичної ланки управління)



ТТХ ППОВ, РФ	Снаряди 152 мм	Снаряди 122 мм	122 мм НУРС 9М519
Засоби доставки	Д-20, 2С3М, 2А65, 2С19	Д-30, М-30, 2С1	БМ-21
Діапазон частот, МГц	1.5... 120	1.5... 120	1.5... 120
Радіус зони РЕП, м	700	700	700
Тривалість роботи, хв	60	60	60
Дальність стрільби макс, км	22	15	18.5



ППОВ виробництва Samel, НРБ

Арт. снаряд (оболонка) ППОВ Заряд

Рис. 2. Засоби дезорганізації військ противника за напрямом розвитку безпілотних літальних апаратів РЕБ, багатофункціональних переносних передавачів перешкод, передавачів перешкод одноразового використання

цій РЕБ СПН-30, СПН-40; СПН-2, СПН-4 прийнято на озброєння станції завод бортовим РЛС «Красуха-2», «Красуха-4» (рис. 3).

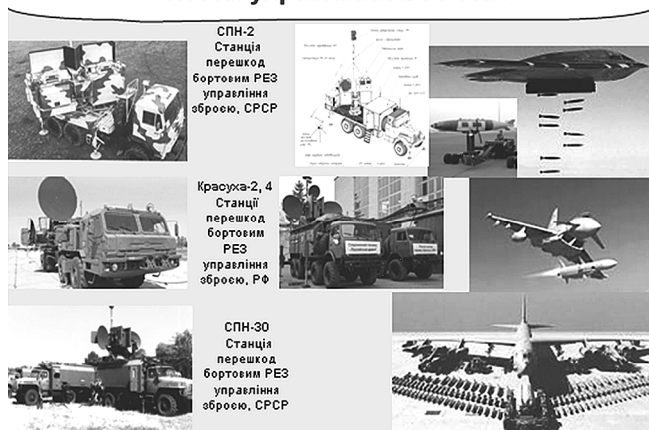
На сучасному етапі розвитку військової авіації ефективність ведення бойових дій у повітрі більше не залежить лише від льотних характеристик літака та його озброєння. Не менш важливу роль відіграють функціональні можливості й характеристики бортових РЕЗ, таких як системи зв'язку й передачі інформації, навігації, управління зброєю, РЕБ та ін. Бортові системи й засоби РЕБ за функціональним призначенням можна розділити на засоби електронної атаки, електронної підтримки та електронного захисту. Засоби електронної атаки призначено для порушення роботи РЕЗ противника. Вони включають засоби постановки завдань, хибні цілі й протирадіолокаційні ракети. Системи й засоби РЕБ літаків призначено в основному для вирішення завдань індивідуального захисту [12, 13, 14]. Масоване застосування протидіями сторонами радіоелектронних засобів у ході локальних війн та збройних конфліктів призвело до необхідності мати в складі авіаційних угруповань спеціалізовані літаки РЕБ, що супроводжують групи ударних літаків і забезпечують їхній радіоелектронний захист. Їхнім основним завданням є подавлення РЛС виявлення

й управління зброєю ППО, а також бортових РЛС винищувачів-перехоплювачів противника. В залежності від числа ударних літаків, важливості завдання та кількості засобів ППО противника прикриття здійснює один або декілька спеціалізованих літаків РЕБ групового захисту, або звичайні літаки, які обладнані підвісним контейнером групового захисту. Вони використовуються або з безпечної відстані від району бойових дій (із зон баражування), або перебуваючи в складі бойових порядків ударних груп.

Розвиток засобів оптико-електронної протидії (ОЕП) обумовлено розвитком систем управління високоточною зброєю засобів повітряного нападу ВТЗ ЗПН. Комплекс оптико-електронної протидії СПЕ-1 (Україна), (рис. 3) призначений для захисту від ракет, снарядів та авіабомб з лазерними головками самонаведення.

Досвід застосування військових контингентів збройних сил багатьох держав світу, у т. ч. України, під час проведення міжнародних миротворчих та інших операцій дозволяє стверджувати про розвиток засобів РЕБ у напрямку розвитку засобів групового та індивідуального радіоелектронного захисту бойових броньованих та колісних машин від ураження радіокерованими боеприпасами (рис. 4) [10, 11] (комплекти малогабаритних пе-

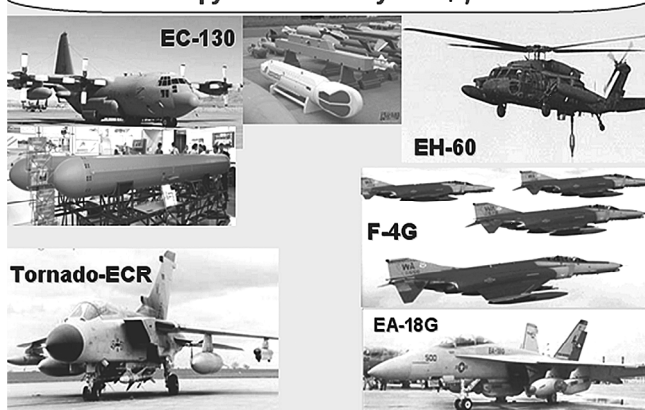
Розвиток засобів РЕП радіолокаційних систем управління ВТЗ ЗПН



Розвиток засобів індивідуального радіоелектронного захисту літаків



Розвиток засобів РЕП повітряного базування (в тому числі для забезпечення групового захисту авіації)



Розвиток засобів ОЕП оптико-електронних систем управління ВТЗ ЗПН

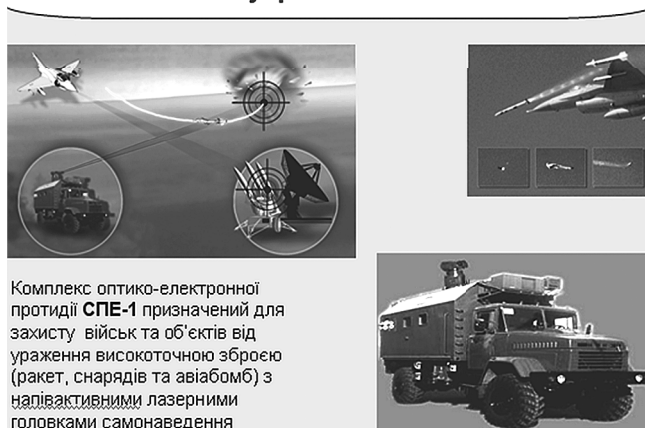


Рис. 3. Засоби захисту військ і об'єктів від ураження керованою зброєю за напрямом розвитку радіолокаційних систем управління ВТЗ ЗПН, засобів РЕП повітряного базування, індивідуального захисту літаків, засобів ОЕП оптико-електронних систем управління ВТЗ ЗПН

редавачів завад МПП-1 (Україна); РП-377УВМ1Л (рф); транспортальні ширококугові малогабаритні передавачі перешкод VME Terminator H2 виробництва Meganet Corporation, (США); переносний передавач перешкод EJAB vehicle компанії Elbit Systems (Ізраїль).

Необхідність вирішення завдань групового радіоелектронного захисту колон ОВТ під час пересування військ від ураження радіокерованими боєприпасами пов'язана з широким, навіть масовим, їх застосуванням незаконно створеними збройними формуваннями, диверсійно-розвідувальними групами й терористами проти миротворчих контингентів та угруповань регулярних військ (рис. 4). Як показує практика, для вирішення таких завдань достатньо ефективно застосовуються багатофункціональні малогабаритні передавачі завад.

Окремим напрямом розвитку засобів РЕБ є розвиток засобів захисту військ та об'єктів від ураження артилерійськими боєприпасами (станція перешкод СПР-2, рф, транспортальний засіб перешкод СПР-3, рб, транспортальні засоби перешкод AN/GLQ-16, AN/VLQ-11, США (рис. 4)) з автодинними радіопідривачами (снарядів, реактивних боєприпасів і мін) та перешкодозахищеним радіопідривачем, що використовують складні зондувальні сигнали, а також сучас-

ні способи перешкодозахисту, шляхом передчасного підриву боєприпасів на безпечній відстані від об'єктів, що захищаються (комплекс «Ртуть-БМ», рф, транспортальний засіб перешкод СПР-3 рб (рис. 4)).

На думку іноземних військових фахівців, у зв'язку з переміщенням акцентів у діях ВМС на прибережну зону та перехід від традиційних силових форм впливу до протистояння й завоювання переваги в інформаційній сфері в країнах НАТО активно ведуться розробки в напрямку розвитку корабельних систем і засобів РЕБ (рис. 4) [14, 15], які вирішують завдання радіоелектронного захисту надводних кораблів від ураження системами ВТЗ, такими, наприклад, як протикорабельні ракети (ПКР) повітряного та морського базування та ін. Одними із найважливіших компонентів корабельних засобів РЕБ є системи постановки пасивних завад (СППЗ) шляхом їхнього відстрілу зі спеціалізованих пускових установок. Дипольні відбивачі, які призначено для постановки пасивних радіолокаційних загороджувальних (маскувальних) завад, були й залишаються найбільш ефективним засобом протидії багатьом ПКР попередніх поколінь із радіолокаційними головками самонаведення (ГСН) пасивної та активної дії. Піротехнічні заряди використовуються як хибні цілі проти ракет з інфрачервоними

Розвиток засобів групового радіоелектронного захисту БТОТ, АТ від ураження радіокерованими вибуховими пристроями (RCIED)



Розвиток засобів радіоелектронного захисту надводних кораблів



Розвиток засобів захисту військ та об'єктів від ураження артилерійськими боєприпасами з радіопідіривачами



Розвиток засобів індивідуального радіоелектронного захисту БТОТ від ураження ВТЗ



Рис. 4. Засоби захисту військ і об'єктів за напрямом розвитку засобів РЕП радіопідіривачів артилерійських боєприпасів, радіокерованих вибухових пристроїв, надводних кораблів та розвитку засобів індивідуального захисту техніки від ураження ВТЗ

ГСН. Корабельні станції РЕБ призначені для вирішення завдань захисту від ураження корабля або групи бойових кораблів засобами ВТЗ шляхом радіоелектронного подавлення систем управління зброєю корабельних ударних груп противника.

Необхідність вирішення складної проблеми захисту угруповань механізованих (танкових) військ обумовлює розвиток засобів індивідуального радіоелектронного захисту БТОТ від ураження ВТЗ (рис. 4) [11, 12]. Комплекс оптико-електронної протидії (КОЕП) ТШУ-1 «Штора-1» (рф), який встановлюється на танки Т-80 і Т-90, забезпечує запобігання прицільного влучення в танк протитанкових керованих ракет із напівавтоматичною системою наведення, а також створення завад системам управління зброєю противника з лазерним цілевказанням і лазерними далекомірами. Вітчизняний комплекс оптико-електронного подавлення «Варта» забезпечує виявлення лазерного випромінювання в широкому діапазоні хвиль (0,6...14 мкм) та створює димову завісу лазерним системам управління зброєю. Система постановки димової завіси комплексу «Варта» містить 12 пускових установок димових гранат і пульт управління з кнопками пуску гранат. Багатоцільову систему захисту MUSS-1 виробництва Krauss Maffei

Wegmann й EADS (ФРН) призначено для встановлення на танках «Леопард-2А5», а також БМП «BOXER», «FENNEK», «PUMA». Система захисту MUSS-1 є аналогом комплексу «Штора-1» і не поступається йому своїми характеристиками. Робота комплексу активного захисту (КАЗ) «Дрозд» (рф) полягає в наступному: на башті танка встановлено 6 мортир, які стріляють шрапнеллю. Підірив шрапнелі здійснюється на відстані 10...15 м від танка. У цьому разі на підльоті до танка знищуються будь-який кумулятивний або осколково-фугасний боєприпаси, команду на постріл із тієї або іншої мортири здійснює розрахунково вирішувальний прилад, у який входять радіолокатор і балістичний обчислювач, що визначають траєкторію боєприпасів. Зараз ведуться роботи з метою підвищення ефективності боротьби з високошвидкісними кінетичними боєприпасами.

Використання засобів радіоелектронної розвідки в інтересах РЕБ

Прикладом вдалої концептуально-технологічної розробки в галузях РЕП та РЕБ є АСУ РЕП і РЕБ армійського корпусу (АК) сухопутних військ збройних сил (СВ ЗС) США ASAS-BETA (All Source Analyses System), яку призначено для прийому, обробки та розподілу розвіду-

вальної інформації від засобів розвідки наземного та повітряного базування з подальшим цілерозподілом між засобами вогневого ураження та засобами РЕБ АК. АСУ РЕБ і РЕБ АК ASAS-BETA успішно експлуатується у СВ ЗС США з 1980 року і відмінно зарекомендувала себе в локальних війнах і збройних конфліктах останніх десятиліть. Тому в якості окремого напрямку розвитку засобів РЕБ можна виділити *сумісне використання засобів РЕБ і РЕП за рахунок їхнього поєднання в спільну АСУ* [12]. Визначена особливість АСУ РЕБ і РЕБ АК ASAS-BETA в автоматизованому режимі дозволяє вирішувати такі завдання:

- обробляти розвідувальну інформацію, що надходить від різних джерел (засобів РЕБ наземного та повітряного базування), у ланках управління від батальйону до армійського корпусу включно;
- відслідковувати поточну загальну оперативно-тактичну і радіоелектронну обстановку, розпізнавати об'єкти розвідки й розкривати заходи, які здійснюються противником;
- виявляти зміни в складі й дислокації угруповання військ противника;
- організовувати застосування сил і засобів РЕБ і РЕБ наземного та повітряного базування за обраними

об'єктами розвідки та об'єктами радіоелектронного подавлення;

– передавати оброблену інформацію в формалізованому вигляді із застосуванням цифрових карт та геоінформаційних систем в інші автоматизовані системи відповідних органів управління для здійснення оперативного планування й видачі даних цілевказання засобам ураження, оцінювати результати нанесення ударів по цілях, які обрано (рис. 5).

Розвиток навчально-тренувальних та програмно-імітаційних засобів

Існуючий парк тренажерів зі складу окремих зразків засобів РЕБ збройних сил передових держав світу являє собою конкретний набір програмно-технічних комплексів, які безпосередньо вбудовано у відповідні бойові зразки ОВТ. Як наслідок, виникає необхідність включення зразків ОВТ під час проведення тренування, що є витратним заходом. Крім того, тренажери, які вбудовано, не завжди забезпечують проведення всіх видів тренувань особового складу засобів РЕБ у необхідних режимах роботи й умовах застосування із завданням практичного залагодження та оцінкою рівня їхньої підготовленості. Аналіз сучасного стану *розвитку навчально-тренувальних й програмно-імітаційних засобів РЕБ* [14]

Поєднання засобів РЕБ і РЕБ наземного та повітряного базування у єдину АСУ



Розвиток засобів радіо-, радіотехнічного контролю



Розвиток навчально-тренувальних та програмно-імітаційних засобів РЕБ



Рис. 5. Поєднання засобів РЕБ та РЕБ з АСУ, розвиток засобів радіо-, радіотехнічного контролю та навчально-тренувальних засобів

(рис. 5) свідчить про те, що вони розробляються та застосовуються у вигляді незалежних від конкретних зразків ОБТ РЕБ апаратно-програмних засобів для забезпечення, по-перше, індивідуального та групового навчання молодшого персоналу, навчання інструкторів, інженерів та осіб офіцерського складу, який обслуговує та експлуатує засоби та комплекси радіoeлектронної розвідки й РЕБ, а по-друге, для індивідуального й групового навчання офіцерів штабу та командирів частин (підрозділів).

Забезпечення радіoeлектронного захисту радіoeлектронних засобів

Аналіз локальних війн і збройних конфліктів останніх десятиліть свідчить про зростаючу роль РЕБ в досягненні мети операцій. Як наслідок, у збройних силах держав, які є розвинутими в технологічному відношенні, приділяється досить пильна увага питанням завадозахищеності та завадостійкості радіoeлектронних засобів різного функціонального призначення. Це обумовлено необхідністю забезпечення радіoeлектронного захисту радіoeлектронних засобів від впливу засобів радіoeлектронного подавлення противника, а з іншого боку, необхідністю забезпечення потрібного рівня електромагнітної сумісності між радіoeлектронними засобами в межах угруповання військ (сил), що створюється. Рішення цих питань можливо тільки з розвитком засобів радіо- радіотехнічного контролю (рис. 5).

Розробка та прийняття на озброєння різноманітних радіoeлектронних систем вимагають постійного контролю їх параметрів, контролю використання радіочастотного спектра і контролю радіoeлектронної обстановки, що потребує розвитку засобів радіо- і радіотехнічного контролю (РРТК). До основних завдань РРТК відносяться плановий контроль параметрів штатних РЕЗ і вимір рівнів ненависних перешкод, виявлення неліцензійних радіопередавачів і визначення їхнього місця розташування, вимір зон енергетичного покриття при оцінці якості радіозв'язку, визначення інтенсивності використання радіочастотного ресурсу. Для рішення таких завдань призначені (рис. 5) станція РРТК «Діаграма» (Україна), ком-плекс РРТК РП-377Л «Лорандит» (рф), комплекс РРТК МКТК-1 (рф), станція РРТК «Аргус» (Німеччина).

Аналіз літературних джерел показує, що за кордоном (США, Великобританія, Франція, ФРН, Китай, Японія, росія) ведуться інтенсивні розробки щодо створення ефективних методів і способів обробки сигналів, які спрямовано на вирішення проблеми забезпечення завадозахищеності та завадостійкості радіoeлектронних засобів різного функціонального призначення. Цей аналіз дозволяє зробити висновок щодо наявності стійкої тенденції у межах складової частини РЕБ радіoeлектронного захисту, а саме в *розвитку методів та способів передачі інформації в екстремальних умовах використання радіочастотного спектра (за умов ведення інтенсивного радіoeлектронного подавлення)*.

Загальною метою програми (Communications Under Extreme RF Spectrum Conditions – CommEx) «Передача інформації в екстремальних умовах використання радіочастотного спектра» (за умов інтенсивного радіoeлектронного подавлення), яка реалізовувалася в Агентстві пере-

дових оборонних дослідницьких проєктів США (DARPA) у період із 2010 до 2021 року, є розробка таких технологій і методів, які забезпечують успішну передачу інформації у присутності чотирьох типів завадових впливів [13]:

- подавлення приймача завадами великої потужності, що приводить до перевантаження прийомного тракту інтермодуляційними спотвореннями;
- традиційні види завад;
- адаптивне радіoeлектронне подавлення;
- розподілене в просторі радіoeлектронне подавлення від багатьох джерел.

Технічна мета програми CommEx полягала в тому, щоб розробити інноваційні адаптивні технології, які дозволять найкраще використання всіх наявних областей обробки сигналів (час, частота, простір, форма хвилі, вид розподілу каналів, мережа, і т. д.) для адаптивного подавлення завад.

Розвиток засобів електромагнітної зброї функціонального ураження

Характерною особливістю сучасного етапу розвитку засобів радіoeлектронної боротьби у світі є *тенденція до більш широкого використання нетрадиційних засобів ураження*, серед яких провідне місце посідають різноманітні засоби ураження противника енергією потужного спрямованого електромагнітного випромінювання, які дістали назву електромагнітної зброї функціонального ураження. Одним з найбільш перспективних видів електромагнітної зброї поряд з такими її різновидами, як радіочастотна чи лазерна зброя, фахівці вважають засоби ураження імпульсним радіочастотним випромінюванням, тобто зброєю електромагнітного імпульсу (ЕМІ).

Зразки зброї ЕМІ завдяки генерації й випромінюванню потужних (понад 1 ГВт) імпульсів електромагнітного поля надкороткої тривалості (одиниці й десятки наносекунд) здатні «випалювати» *p-n*-переходи сучасних радіoeлектронних засобів ОБТ противника. Їхня висока ефективність доведена відомими успішними випадками бойового застосування боєприпасів ЕМІ армією США під час операцій у Кувейті, Іраку, Югославії [14].

Об'єктами ураження зброї ЕМІ є: радіoeлектронні засоби систем управління військами та зброєю (командні пункти (пункти управління); засоби РЕБ, радіолокаційної і радіотехнічної розвідки; зенітні ракетні комплекси (системи); радіотехнічні системи управління польотами авіації тощо).

Зокрема зброя ЕМІ здатна здійснювати функціональне подавлення (на великих відстанях) чи навіть функціональне ураження (на менших відстанях) РЕЗ систем управління БпЛА, крилатих ракет і тому розглядається як один з потенційно ефективних засобів боротьби з такими цілями (поряд з модернізованими зенітними гарматами та лазерними гарматами).

Зразки зброї ЕМІ можуть виконуватися у варіантах (рис. 6): боєприпасів ЕМІ (керовані ракети, авіаційні бомби, артилерійські снаряди тощо), які за допомогою відповідних носіїв доставляються в місце спрацювання, розташоване в безпосередній близькості (не більше 20–30 м) до цілей, що уражаються; або так званих комплексів спрямованого випромінювання багаторазового



Рис. 6. Можливі варіанти застосування зброї ЕМІ для функціонального ураження наземних та повітряних цілей

використання, що здійснюють дистанційне ураження цілей зі значної відстані (до декількох кілометрів).

На думку аналітиків, поряд з традиційними засобами радіоелектронної боротьби, використання зброї ЕМІ для нанесення електронних і комбінованих електронно-вогневих ударів може стати однією з основних форм бойових дій в найближчому майбутньому [15].

Більш того, деякі теоретики військової справи вважають, що у перспективі зброя ЕМІ може розглядатися і як силовий, наступальний засіб радіоелектронної та інформаційної боротьби. Основними стратегічними і оперативними завданнями, які можна буде вирішувати за допомогою зброї ЕМІ в такому разі, є такі: стратегічне стримування агресії; дезорганізація систем управління військами та зброєю противника; зниження ефективності його наступальних повітряних, сухопутних і морських дій; забезпечення панування в повітрі шляхом ураження засобів ППО та РЕБ протиповітряної оборони.

Слід зазначити, що у випадках, якщо противник використовує БпЛА та крилаті ракети в автономному режимі, коли вони застосовуються в режимі радіомовчання та наводяться лише за допомогою інерційної навігаційної

та оптикоелектронних систем, зброя ЕМІ може стати єдиною альтернативою вогневому ураженню таких засобів повітряного нападу комплексами протиповітряної оборони.

ВИСНОВКИ

Проблеми розвитку озброєння та військової техніки радіоелектронної боротьби й радіоелектронної боротьби в цілому були та залишаються актуальними в будь-який час для збройних сил будь-якої держави світу, яка позиціонує себе як технологічно розвинута. Тому в найближчі роки уявляється важливим не лише досягти єдиного розуміння змісту радіоелектронної боротьби, її ролі й місця в сучасних операціях, але й уточнити спрямованість воєнно-технічної політики в галузі радіоелектронної боротьби з урахуванням сучасних загальносвітових тенденцій та напрямків розвитку її засобів та комплексів.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Балахов Н.Н. Развитие форм и способов ведения военных действий в начале XXI века. Зарубежное военное обозрение. 2003. № 4. С. 33–42.
2. Попов А.О., Ремесло В.Я. Загальні тенденції розвитку радіоелектронної боротьби за досвідом локальних війн і збройних конфліктів сучасності. Тр. Акад. 2003. № 43. С. 314–316.
3. Перунов Ю.М., Любин М.Д. Радиоэлектронная борьба: исторический аспект. Военная мысль. 2012. № 12. С. 58–74.
4. Горбачёв Ю., Вахрамов С. Взгляды командования Сухопутных войск США на сущность и содержание радиоэлектронной войны. Зарубежное военное обозрение. 2011. № 9. С. 34–41.
5. Иванов И., Чадов И. Содержание и роль радиоэлектронной борьбы в операциях XXI века. Зарубежное военное обозрение. 2011. № 1. С. 14–20.
6. Попов А.О., Твердохлибов В.В. Загальні тенденції розвитку засобів радіоелектронної боротьби. Озброєння та військова техніка. 2014. № 4(4). С. 4–10.
7. Балыбин В.А., Батурин Ю.О., Гулидов А.А. О совершенствовании системы вооружения радио-электронной борьбы. Военная мысль. 2013. № 11. С. 14–20.
8. Чепков И.Б., Нор П.И. Загальні тенденції розвитку озброєння та військової техніки. Озброєння та військова техніка. 2014. № 1(1). С. 4–13.
9. Кузьменко Т.П., Попов А.О., Твердохлибов В.В. Оцінка технічного рівня сучасних зразків ОБТ радіоелектронної боротьби сухопутних військ ЗС РФ. Зб. наук. пр. ЦНДІ ОБТ ЗС України. 2013. № 4(51). С. 144–160.
10. Ямпольский Л.С. Обобщенный анализ применения средств воздушного нападения ОВС НАТО при проведении военной операции в Югославии «Решительная сила» и в других локальных войнах в 90-х годах. Ульяновск: УлГТУ. 2000. 80 с.
11. Системы управления, связи и радиоэлектронной борьбы. Оружие и технологии России. Энциклопедия. XXI век. Т. XIII. 2006. 695 с.
12. Михайлов О.В., Попов А.О., Поривай В.О. Системы управления силами и средствами ЗС иностранных держав.

- Ч. І. Системи управління силами (військами) ЗС іноземних держав. Київ: НАОУ. 2002. 384 с.
13. Broad Agency Announcement «The Communication Under Extreme RF Spectrum Conditions». DARPA Strategic Technologies Office. DARPA-BAA-10-74. 2010. 80 p.
 14. Федоров П.М., Богучарський В.В., Гамалій Н.В. Розрахунок зон ураження зброї електромагнітного імпульсу. Озброєння та військова техніка. 2018. № 2(18). С. 75–82.
 15. Рябих В.О. Електромагнітна зброя: осідлати тренди. Defense Express, 17 квітня 2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/elektromagnitna_zbroja_osidlati_trendi-505.html.
- ### REFERENCES
1. Balahov, N.N. (2003), “Razvitie form i sposobov vedeniia voennukh deistvii v nachale XXI veka” [Development of forms and methods of warfare at the beginning of the 21st century], Foreign Military Review. No 4. Pp. 33–42.
 2. Popov, A.O. & Remeslo, V.Y. (2003), “Zagalni tendentsii rozvutku radioelektronnoi borotbu za dosvidom lokalnukh voyn i zbroinukh konfliktiv suchasnosti” [General trends in the development of electronic warfare based on the experience of local wars and modern armed conflicts], Proc. of the Acad. No 43. Pp. 314–316.
 3. Perunov, Y.M. & Lublin, M.D. (2012), “Radioelektronaia borba: istoricheskii aspekt” [Electronic War-fare: Historical Aspect], Military Thought. No 12. Pp. 58–74.
 4. Gorbachov, Y. & Vahramov, S. (2011), “Vzgliady komandovaniia Sukhoputnykh voisk SSHA na sushchnost i sodержanie radioelektronnoi voyny” [The views of the command of the US Army on the essence and content of electronic warfare], Foreign Military Review. No 9. Pp. 34–41.
 5. Ivanov, I. & Chadov, I. (2011), “Soderzhanie i rol radioelektronnoi borby v operatsiakh XXI veka” [The content and role of electronic warfare in the operations of the XXI century], Foreign Military Review. No 1. Pp. 14–20.
 6. Popov, A.A. & Tverdohlebov, V.V. (2014). “Zagalny tendentsii rozvutku zasobiv radioelektronnoi bo-rotbu” [General trends in the development of means of electronic warfare], Weapons and Military Equipment. № 4(4). Pp. 4–10.
 7. Balubin, V.A., Baturin, Y.O. & Gulidov, A.A. (2013), “O sovershenstvovanii sistemu vooruzheniia radioelektronnoi borbu” [On the improvement of the electronic warfare weapon system], Military Thought. No 11. Pp. 14–20.
 8. Chepkov, I.B. & Nor, P.I. (2014), “Zagalni tendentsii rozvutku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki” [General trends in the development of weapons and military equipment], Weapons and Military Equipment. № 1(1). Pp. 4–13.
 9. Kuzmenko, T.P., Popov, A.A. & Tverdohlebov, V.V. (2013). “Otsinka tekhnichnogo ravnii suchasnykh zrazkiv OVT radioelektronnoi borotby suhoputnykh viisk ZS rf” [Estimating technology level of recent EW systems of Army of russian federation Armed Forces], Proc. of CRI of Armament and Military Technique. № 4(51). Pp. 144–160.
 10. Yampolskiy, L.S. (2000), “Obobshchennui analiz primeneniia sredstv vozdukhnoho napadeniia OVS NATO pri provedenii voennoi operatsii v Yugoslavii «Reshitelnaia sila» i v drugikh lokalnukh voynakh v 90-kh godakh” [Generalized analysis of the use of NATO air attack means during the military operation in Yugoslavia «Resolute Force» and in other local wars in the 90s], «UIGTU» Publishing LLC. Ulianovsk. 80 p.
 11. “Sistemu upravleniia, sviazi i radioelektronnoi borbu” [Control systems, communications and electron-ic warfare], Weapons and technologies of russia. Encyclopedia. XXI century. T. XIII. (2006). 695 p.
 12. Mihailov, O.V., Popov, A.O. & Poruvai, V.O. (2002), “Sistemu upravleniia silami i zasobami ZS ino-zemnykh derzhav. Ch. I. Sistemu upravlinnia silamu (viiskamu) ZS inozemnykh derzhav” [Management systems of the forces and means of the armed forces of foreign countries. P. I. Management systems of the forces (troops) of the armed forces of foreign countries], «NAOU» Publishing LLC. K. 384 p.
 13. Broad Agency Announcement «The Communication Under Extreme RF Spectrum Conditions». DARPA Strategic Technologies Office. DARPA-BAA-10-74. 2010. 80 p.
 14. Fedorov, P.M., Bogucharskiy, V.V. & Gamaliy, N.V. (2018) “Rozrakhunok zon urazhennia zbroi el-ektromagnitnoho impulsu” [Calculation of damage zones of electromagnetic pulse weapons]. Weap-ons and Military Equipment. 2(18). Pp. 75–82.
 15. Ryabuh, V.O. (17.04.2020), “Elektromagnitna zbroia: osidlaty trendy” [Electromagnetic Weapons: Harnessing the Trends], Defense Express. Available at: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/elektromagnitna_zbroja_osidlati_trendi-505.html.
- ### Biletska A., Zibin S., Tverdochlibov V.
- ### PROMISING DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF RADIO-ELECTRONIC WARFARE MEANS AND TECHNIQUES
- The modern stage of the Armed Forces development of the advanced countries of the world is characterized by the priority development of both means of communication and information transmission together with means of controlling weapons, as well as means of electronic warfare, as one of the most important components of ensuring an informational advantage during the conduct of combat operations by units and units ground troops. The purpose of the article is, firstly, to determine the general trends and directions of the development of elec-tronic warfare tools in the context of the general trends in the development of armament and military equip-ment and secondly, to indicate the main ways of improving the armament and military equipment system of electronic warfare. In the article a generalized analysis of the development of electronic warfare means of the armed forces of the leading states of the world was carried out, which allowed to identify the main trends and directions of electronic warfare equipment.*
- The article provides an interpretation of the concept of electronic warfare and its purpose in operations of a new type in the armies of the world's leading countries. The purpose of using electronic warfare means in the operations of a group of troops is determined according to the guiding documents of the Armed Forces of Ukraine, the main components and tasks of electronic warfare are specified.*

Two main aspects in the general development of technology have been identified: the inconsistency of the state of electronic defense systems with the modern level of development of communication systems, information transmission and weapons management and the low efficiency of solving tasks related to radio-electronic protection by directions.

The areas of development of the means of disorganization of the control of enemy troops (forces), means of protection of troops and objects from damage by guided weapons, means of radio and radio-technical control and training base are considered.

Keywords: radio-electronic warfare, radio-electronic suppression, radio-electronic protection, radio-electronic intelligence, radio-, radio-technical control, radio-controlled explosive device.

Відомості про авторів:

Білецька Альона Володимирівна

кандидат філософських наук
науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0178-0542>

Зібін Сергій Данилович

кандидат технічних наук
науковий співробітник
Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>

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:

Biletska Alona

Candidate of Philosophy Sciences
Researcher of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-0178-0542>

Zibin Sergey

Candidate of Technical Sciences
Researcher of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>

Tverdochlibov Vladimir

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Chief of Scientific Research Management of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6802-9796>

УДК 539.186

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4\(36\).79-85](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).79-85)

В. А. БАТУРІН, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0003-6171-8575>

П. О. ЛИТВИНОВ, кандидат технічних наук
старший науковий співробітник

С. О. ПУСТОВОЙТОВ, молодший науковий співробітник

О. Ю. РОЄНКО, молодший науковий співробітник
(Інститут прикладної фізики НАН України,
м. Суми)

РОЗРОБКА ІНЖЕКТОРА ІОНІВ БЕРИЛІЮ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УСТАНОВКИ З ВИГОТОВЛЕННЯ ІНФРАЧЕРВОНИХ ФОТОПРИЙМАЧІВ ДЛЯ СИСТЕМ НАВЕДЕННЯ

У статті представлено результати розробки джерела іонів берилію та інших металів, призначеного для розробки технологічного циклу виготовлення приймачів інфрачервоного випромінювання для приладів нічного бачення та систем наведення ракет. Запропоновано та розроблено конструкцію плазмового розпилювального джерела іонів металів з розрядом відбивного типу та холодним порожнистим катодом та інжектор іонів металів на його основі. Створено компактне джерело металевих/газових іонів, в якому шляхом розпорошення іонами аргону катодного та антикатодного електроду забезпечується утворення фази надлишкового тиску парів металу і реалізується його іонізація осцилюючими електронами в поздовжньому магнітному полі. Витягування та формування пучка, що містить іони плазмоутворюючого газу і металу, здійснюється через емісійний отвір у антикатоді.

Парціальне відношення іонів аргон/метал у сформованому пучку знаходиться в інтервалі 3–20. Розроблене джерело має високу стабільність іонного струму в часі, просте в обслуговуванні, може генерувати іони із будь-якого провідного твердого тіла без використання високотемпературної печі для його випаровування.

Проведено моделювання та виготовлення іонно-оптичної системи формування іонного пучка в складі імплантера Інституту прикладної фізики НАН України. Оскільки іонний інжектор буде впроваджено в іонний імплантер MBP-202 фірми «BALZERS» Інституту фізики напівпровідників НАН України ім. В.Є. Лашкарьова, проведено аналіз його оптичної та вакуумної систем, а також елементів живлення. Всі ці фактори були враховані під час розробки іонного джерела, що дозволить безпроблемно впровадити його в імплантер MBP-202.

Ключові слова: інфрачервоні фотоприймачі, іони берилію, іонний імплантер, інжектор іонів металів, джерело іонів металів, іонно-оптична система.

ВСТУП

На основі аналізу локальних війн та збройних конфліктів визначено, що засоби повітряного нападу стали не лише найважливішими, а й єдиними засобами досягнення поставленої мети операції [1]. В міру успіхів військової техніки в областях, де зовнішні умови більш сприятливі для інфрачервоних приладів (на великих висотах, у космічному просторі), інфрачервоної апаратури, що призначена для виявлення та відстеження цілей, приділяється все більш серйозна увага. Можливості інфрачервоної техніки істотно розширюються при розробці більш чутливих фотоприймачів [2].

Тому надзвичайно актуальним є створення технологічного циклу виготовлення приймачів інфрачервоного (ІЧ) випромінювання для систем наведення ракет. Основним сучасним матеріалом для створення ІЧ-фотоприймачів є антимонід індію InSb, який у порівнянні з іншими сполуками (HgCdTe, PbS) має більш високу стабільність, технологічність виготовлення, а також високу структурну досконалість монокристалічного матеріалу. Налагодження вітчизняної технології InSb-фотодіодів дає можливість реалізації замкненого технологічного циклу виробництва в Україні головок наведення для ракет різних типів, що має не лише військове значення, але й розширює експортний потенціал України як виробника високотехнологічної продукції з високим комерційним ефектом. Для формування *p-n* переходів в антимоніді індію необхідно імплантувати іони берилію, які є акцепторною домішкою в цьому матеріалі. Технологічний процес іонної імплантації є ключовим для виготовлення всіх сучасних напівпровідникових приладів та схем. Особливо це стосується технології формування *p-n* переходів у вузькозонних напівпровідниках, які використовуються для фотоприймачів в інфрачервоній області спектру. В цьому випадку термічна дифузія домішок не може бути використана в зв'язку з тим, що використовувані матеріали не витримують високих температур. Тому в Україні є нагальна проблема створення іонного імплантера іонів берилію.

Одним із важливих елементів прискорювальної установки іонної імплантації, що багато в чому визначає її параметри, є іонне джерело. В Інституті прикладної фізики НАН України (м. Суми) накопичено досвід розробки та дослідження інтенсивних іонних джерел газових та металевих іонів для технологічних іонно-променевих установок.

Берилій не має газоподібних сполук. Тому для генерації іонів берилію робочим середовищем джерела повинен бути металевий берилій. Існує кілька типів джерел металевих іонів для прискорювачів, які ґрунтуються на різних фізичних принципах подачі твердофазної робочої речовини в розряд [3–5]. Найбільш універсальним та надійним способом є розпорошення. Процеси розпорошення, на відміну отримання атомів металу за допомогою випаровування, протікають у поверхневих шарах твердого тіла за умов, далеких від теплової рівноваги [6]. Тому такий спосіб створення робочого середовища

дозволяє формувати атомарну концентрацію металів з будь-якою температурою плавлення та випаровування.

Завданням цієї роботи є створення конструкції інжектора іонів берилію, проведення його стендових випробувань з метою оптимізації геометрії і теплового режиму роботи окремих електродів, а також проведення досліджень масового і зарядового складу пучка, що генерується джерелом.

КОНСТРУКЦІЯ ІНЖЕКТОРА, ПРИНЦИП РОБОТИ ІОННОГО ДЖЕРЕЛА ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРІЇ РОЗРЯДНОЇ СИСТЕМИ ДЖЕРЕЛА

Іонний інжектор є основою будь-якого іонного імплантера і включає в себе джерело іонів та систему первинного формування та фокусування іонного пучка.

Для технологічного процесу іонної імплантації дуже важливо мати іонний інжектор з надійним стабільно працюючим джерелом (в даному випадку іонів берилію), яке б створювало в приймальній камері іонний пучок струмом кілька мікроампер з енергією 20–120 keV. Фізико-технічні завдання розробки плазмових джерел іонів принципово подібні, проте вимоги до вирішення цих завдань в разі генерації іонів берилію специфічні і регулюються «Санітарними правилами при роботі з берилієм та його сполуками». Це вимагає спеціально обладнаних приміщень і накладає деякі обмеження на використання стандартних методів організації роботи з іонним джерелом. За деякими властивостями берилій багатий в чому схожий з алюмінієм (діагональна схожість у періодичній системі елементів Менделєєва). Тому на етапі розробки іонного джерела матеріалом вставки, що розпилюється, можна використовувати алюміній. Після виконання санітарно-технічних умов роботи з берилієм, іонне джерело може бути легко доопрацьовано для отримання іонів Be, використовуючи в якості вставки, що розпилюється, берилій або сплави на основі алюмінію з вмістом берилію 20 % і більше.

Перед конструюванням іонного джерела були зроблені модельні розрахунки окремих елементів джерела, зокрема конфігурації магнітного поля. Також вибрано доступний тип магніту, орієнтовні розміри джерела та його системи живлення з урахуванням подальшого безпроблемного впровадження створеного джерела в іонний імплантер MBP-202 фірми «BALZERS» Інституту фізики напівпровідників НАН України. На цьому імплантері будуть проведені випробування джерела при генерації іонів берилію, а потім імплантація іонів берилію в пластину з антимоніду індію та відпрацювання технології виготовлення інфрачервоних датчиків.

При створенні джерел іонів металів, які б відповідали сучасним вимогам, потрібна ефективна організація наступних основних стадій їх робочого процесу: генерації достатньої концентрації атомів заданої речовини (Al) в об'ємі розрядної камери, іонізації одержаного робочого середовища, а також прискорення та первинного формування іонного пучка.

Конструкція запропонованого джерела схематично показана на рис. 1.

Побудова джерела ґрунтувалась на формуванні плазмового емітера, що містить іони металу, з використанням

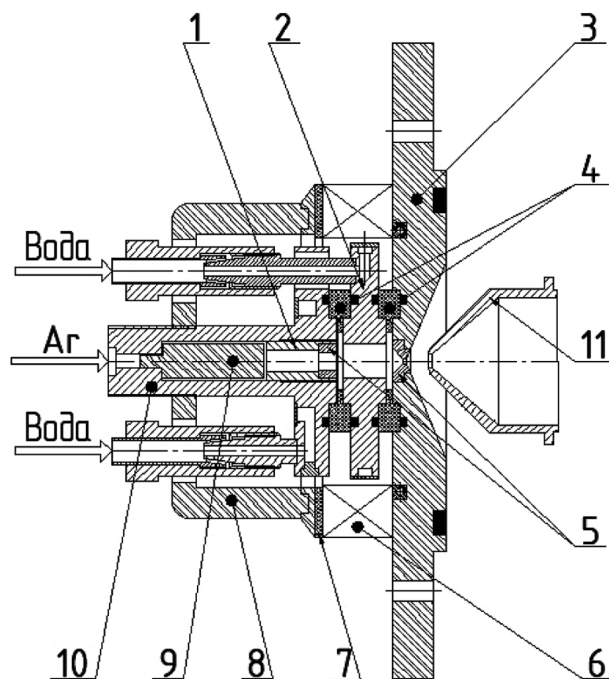


Рис. 1. Конструкція джерела іонів металу: 1 – порожнистий катод; 2 – анод; 3 – антикатод; 4, 7 – ізолятори; 5 – розпилювальні вставки; 6 – NdFeB магніт; 8 – корпус; 9 – феромагнітна вставка; 10 – катодний вузол; 11 – екстрагуючий електрод

тілючого розряду Пеннінга. Осциляція електронів в ньому дозволяє використовувати низький тиск у розрядній камері і підтримувати, таким чином, необхідні вакуумні умови в робочій камері іонного імплантера.

Газорозрядна камера джерела складається із порожнистого катоду 1, аноду 2, антикатоду 3 та корпусу 8, які утворюють пеннінгівську геометрію розряду. Однорідне магнітне поле в газорозрядній камері створюється NdFeB магнітом 6 та магнітопроводами 3, 8, 9. Магнітопровід виділено на рис. 1 штрихуванням STEEL. Газ (Ar), для підпалу плазми та підтримки горіння розряду, подається в тильну частину катоду 1 розрядної камери. Для виключення прив'язки розряду до отвору для входу газу до розрядної камери, в цьому джерелі передбачена газорозподільна порожнина. Газ в розряд надходить через вузьку (0,5 мм) кільцеву щілину в периферійній області катодного вузла 10.

Моделювання магнітного поля джерела іонів проводилось з використанням програми «TRUCK». Магнітне поле у проміжку катод-антикатод задавалось на рівні 0,1–0,2 Т. Моделювання показало, що при використанні постійного магніту NdFeB (кільце розміром 100x70x20 мм) напруженість магнітного поля всередині порожнистого катоду, аноду та антикатоду досягає величини $B = 0,16\text{--}0,2$ Т, що є прийнятним для створюваного джерела іонів.

Перегрів електродів, що контактують з розрядом, може привести до зміни режиму горіння розряду. Для виключення цього явища катодний вузол 10 та анод 2 іонного джерела охолоджуються водою.

Вставки 5, що розпилюються, запресовуються безпосередньо в порожнистий катод і антикатод для ефективного формування робочого середовища в розрядній

камері джерела. Розпилювальні вставки виготовляються із матеріалу, іони якого потрібно одержувати. На етапі відпрацювання конструкції джерела і режимів його роботи вставки виготовлялись із алюмінію. Катод 1 виготовлений із молібдену.

При подачі напруги на електроди джерела між катодом 1, анодом 2 і антикатодом 3 загоряється тліючий розряд з напругою ~ 400 В і струмом в межах 100–400 мА. Іони аргону бомбардують розпилювальні вставки в катоді та антикатоді, створюючи в емісійній області газорозрядної камери робоче середовище із розпилених атомів Al і буферного газу Ar, що використовується для підпалу та підтримки горіння розряду. Швидкі осцилюючі електрони, які в основному зосереджені на осі розряду, іонізують робоче середовище. Іони, що потрапили в зону дії електричного поля, екстрагуються в область іонно-оптичного тракту джерела і формуються в іонний пучок. Плазмовий меніск, що емітує іони, формується усередині емісійного отвору діаметром 1,5 мм. Іони емітуються під впливом напруги екстрагування 30 кВ, прикладеної між антикатодом 3, який є емітуючим електродом і екстрагуючим електродом 11.

Важливою складовою джерела розпилювального типу є необхідність термалізації робочої компоненти джерела (атомів металів), оскільки розпилені атоми мають високу енергію, в середньому ~ 10 еВ. При цьому розпилені атоми будуть мати високу кінетичну енергію та занадто малий термін перебування в зоні іонізації, отже, термалізація необхідна для підвищення вірогідності іонізації робочої компоненти.

Щоб адекватно представляти механізм термалізації розпилених атомів металу, що відбувається в пеннінгівській розрядній камері, необхідно знати величину тиску P_0 в камері і їх початкову енергію E_0 . За початкову енергію розпилених атомів можна прийняти величину $E_0 = 10$ еВ [5]. Для вимірювання тиску в пеннінгівській розрядній камері був виготовлений спеціальний електрод, який монтувався на місце антикатода. На осі цього електроду кріпився манометричний перетворювач ПМИ-10-2. Величина тиску при відсутності розряду вимірювалася з урахуванням витікання газу з розрядної камери через емісійний отвір $\varnothing = 1,5$ мм і складала $P_0 = 2,5$ Па. На підставі наведених значень P_0 і E_0 і при даних розмірах розрядної камери механізм термалізації розпилених атомів можна представити таким чином. Розпилені атоми будуть рухатися переважно в режимі без зіткнень, поки не досягнуть розігрітої до температури T_s внутрішньої поверхні анода. Після декількох зіткнень з циліндричною поверхнею і обміну енергією між ними і поверхнею, атоми, в кінцевому підсумку, придуть з нею в стан термодинамічної рівноваги і будуть адсорбовані. В результаті теплових флуктуацій існує ймовірність їх термічної десорбції з температурою, рівною температурі поверхні. Таким чином, в пеннінгівській розрядній камері, де відбувається осциляція швидких електронів, буде формуватися концентрація десорбованих атомів металу з енергією $E_d = kT_s \ll E_0$, де k – константа Больцмана.

Імовірність іонізації розпилених атомів в розряді можна описати виразом, наведеним в роботі [7]:

$$w_i = \sigma_i j_e L / v_o, \quad (1)$$

де σ_i – перетин іонізації електронним ударом, j_e – щільність струму іонізуючих електронів, L – довжина взаємодії розпилених атомів з іонізуючими електронами, v_o – швидкість розпиленних нейтральних атомів. Тоді щільність іонів n_i , що утворилися після взаємодії розпиленних нейтральних атомів з щільністю n_o з іонізуючими електронами, можна записати як:

$$n_i = w_i n_o = \sigma_i j_e L n_o / v_o. \quad (2)$$

Звідси випливає, що для підвищення щільності іонів металу на осі розряду треба, щоб уздовж його осі був сформований потік іонізуючих електронів високої щільності і розпорошені атоми з високою щільністю та з мінімальною швидкістю.

Через неповну іонізацію розпиленних атомів в розряді значна їх частина з плазми потрапляє на стінки емісійної камери, де вони або знову десорбуються (з аноду), або знову розпилюються (з торцевих стінок), але в обох випадках потрапляють назад в розряд [8]. Таким чином, втрати робочої речовини в даному джерелі зведені до мінімуму.

Для підвищення надійності роботи джерела з його конструкції були принципово виключені всілякі нагрівачі, а необхідний температурний режим електродів розрядної камери досягався за рахунок розподілу потужності розряду між окремими його елементами.

ІОННО-ОПТИЧНА СИСТЕМА ІНЖЕКТОРА

Іонно-оптична система інжектора є важливою конструктивною частиною іонного інжектора, яка відповідає за відбір частинок із плазмової границі та первинне формування і фокусування пучка. Ця система в значній мірі визначає емітанс пучка іонів, який повинен бути узгоджений з аксептансом конкретного прискорювального комплексу, в якому планується використовувати джерело. Геометричні розміри іонно-оптичної системи вибирались з урахуванням проведеного комп'ютерного моделювання. Для моделювання використовувалася бібліотека IBSimu мови програмування C++ [9].

На рис. 2 показано конструкцію іонно-оптичної системи іонного інжектора.

Елементи іонно-оптичної системи виготовлені із нержавіючої сталі 12Х18Н10Т та високовакуумної кераміки Al_2O_3 . Цангові зажими для керамічних ізоляційних стрижнів використовуються для прецизійного регулювання розмірів зазорів між окремими оптичними елементами та юстування іонної оптики в цілому.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛА ІОНІВ МЕТАЛІВ

Відпрацювання конструкції іонного джерела та дослідження робочих характеристик проводилися на іонному імплантері Інституту прикладної фізики НАН України [10], схематично показаному на рис. 3.

Система живлення іонного джерела в імплантері була адаптована до блоків живлення іонного імплантера Інституту фізики напівпровідників НАН України ім. В.Є. Лашкарьова, оскільки іонне джерело буде впроваджено там. Робочі характеристики живлення іонного джерела наступні:

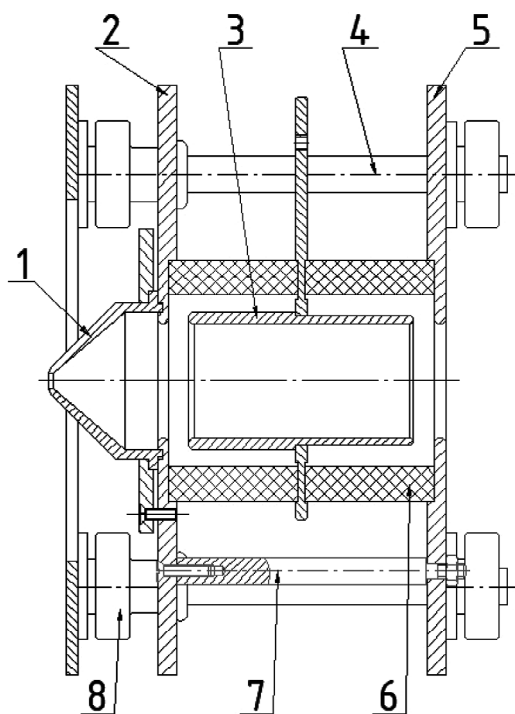


Рис. 2. Іонно-оптична система інжектора: 1 – екстрагуючий електрод; 2, 3, 5 – електроди однопотенційної електростатичної лінзи; 4 – керамічний ізолюючий стрижень; 6 – керамічне центруюче кільце; 7 – стягуюча шпилька; 8 – цанга

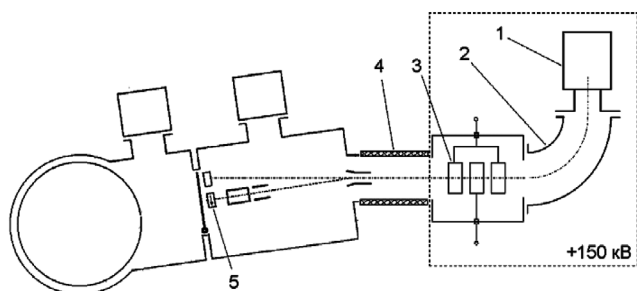


Рис. 3. Іонно-оптична система інжектора: 1 – іонне джерело; 2 – магнітний мас-сепаратор; 3 – одиночна електростатична лінза; 4 – прискорювальна трубка; 5 – циліндр Фарадея

- напруга катод-анод – 100–800 V;
- розрядний струм – 100–400 mA;
- вакуум – $1 \cdot 10^{-3}$ – $2 \cdot 10^{-3}$ Pa;
- магнітне поле – 0,16–0,2 T.

На етапі налагодження іонного джерела та вибору режимів його роботи розпилювальні вставки (катодна та антикатодна) виготовлялись із Al, оскільки в Інституті прикладної фізики НАН України відсутні санітарно-технічні умови роботи з берилієм.

Іонний пучок, екстрагований із іонного джерела 1 та сформований іонно-оптичною системою імплантера, сепарувався за масами у магнітному мас-сепараторі 2, формувалася одиночною електростатичною лінзою 3, прискорювався у трубці прискорення 4 і попадав на циліндр Фарадея 5. Вакуум в приймальній камері підтримувався на рівні $1 \cdot 10^{-4}$ – $5 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Напруга екстракції іонів із джерела підтримувалась в усіх експериментах на рівні 30 kV. Для всіх експериментів енергія іонів після прискорення в імплантері підтримувалась на рівні 100 kV. Струм іонного пучка вимірювався циліндром Фарадея 5.

Основні вимірювання характеристик джерела проводилися із пучком іонів алюмінію. Металева складова робочого тіла (Al) в розрядній камері джерела формувалась шляхом розпорошення катоду та антикатоду іонами Ar^+ .

Були зняті залежності струму іонів Al^+ , Ar^+ від розрядного струму, тиску плазмоутворюючого газу та величини напруги екстракції.

На рис. 4 та 5 показано залежність іонного струму іонів Al^+ та Ar^+ від розрядного струму анод-катод при різних парціальних тисках аргону в діапазоні $(1,1\text{--}1,7) \cdot 10^{-3}$ Pa (іонний струм вимірювався циліндром Фарадея 5).

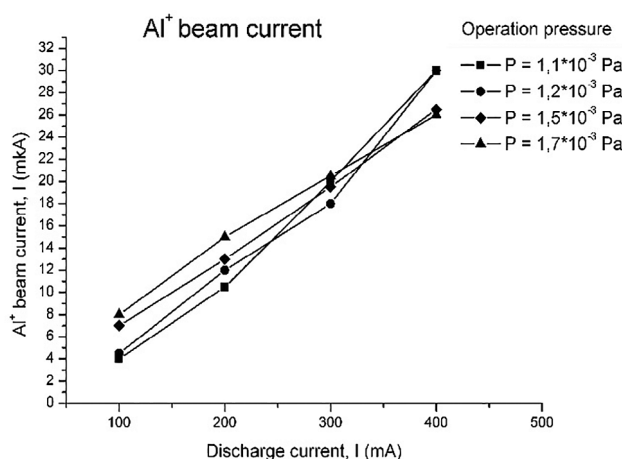


Рис. 4. Залежність струму іонів Al^+ від розрядного струму при різних значеннях тиску

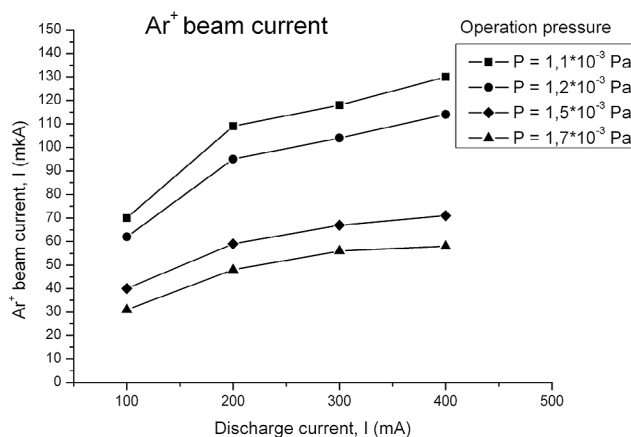


Рис. 5. Залежність струму іонів Ar^+ від розрядного струму при різних значеннях тиску

Іонна компонента Al^+ (рис. 4) майже не залежить від тиску в розрядній камері та практично лінійно збільшується з ростом розрядного струму в усьому діапазоні змін тиску аргону. Таку залежність іонного струму можна пояснити тим, що основна атомна компонента Al формується в районі антикатоду при його розпиленні, тут же проходить їх іонізація і формування в іонний пучок.

Як видно із рис. 5, струм іонів аргону майже лінійно росте з ростом розрядного струму анод-катод і суттєво

залежить від тиску плазмоутворюючого газу в джерелі. Очевидно, що із підвищенням тиску у розрядній камері джерела іонна компонента Ar^+ у плазмі зменшується за рахунок перезарядних процесів, що проходять на нейтральній компоненті атомів аргону.

В зведеній табл. 1 представлено усереднені експериментальні дані іонних струмів Al^+ , Ar^+ та їх відношення при різних умовах роботи іонного джерела.

Таблиця 1. Відношення іонних струмів в залежності від розрядного струму I_p , напруги на розряді U_p для різних значень тиску в розрядній камері

Operation pressure $P(\text{Ar})=1,1 \cdot 10^{-3}$				
I_p	U_p	$I(\text{Al}^+)$	$I(\text{Ar}^+)$	$I(\text{Ar}^+)/I(\text{Al}^+)$
mA	V	mkA	mkA	
100	370	4	70	17,5
200	420	10,5	109	10,4
300	500	20	118	5,9
400	560	30	130	4,3
Operation pressure $P(\text{Ar})=1,2 \cdot 10^{-3}$				
I_p	U_p	$I(\text{Al}^+)$	$I(\text{Ar}^+)$	$I(\text{Ar}^+)/I(\text{Al}^+)$
mA	V	mkA	mkA	
100	370	4,5	62	13,8
200	420	12	95	7,9
300	500	18	104	5,8
400	560	30	114	3,8
Operation pressure $P(\text{Ar})=1,5 \cdot 10^{-3}$				
I_p	U_p	$I(\text{Al}^+)$	$I(\text{Ar}^+)$	$I(\text{Ar}^+)/I(\text{Al}^+)$
mA	V	mkA	mkA	
100	380	7	40	5,7
200	420	13	59	4,5
300	480	19,5	67	3,4
400	540	26,5	71	2,7
Operation pressure $P(\text{Ar})=1,7 \cdot 10^{-3}$				
I_p	U_p	$I(\text{Al}^+)$	$I(\text{Ar}^+)$	$I(\text{Ar}^+)/I(\text{Al}^+)$
mA	V	mkA	mkA	
100	380	8	31	3,9
200	430	15	48	3,2
300	490	20,5	56	2,7
400	550	26	58	2,2

Аналіз результатів, представлених в табл. 1, свідчить про те, що парціальна доля іонів металів в загальному іонному струмі збільшується з ростом величини розрядного струму. Очевидно, це пов'язано із зростанням парціального тиску металевої складової в розрядній камері джерела.

Були проведені випробування розробленого іонного інжектора на стабільність вихідного струму металевих іонів. З осцилограми, наведеної на рис. 6, видно, що інжектор має високу стабільність струму, що екстрагується. Таким чином, характеристики інжектора повністю задовольняють критеріям його експлуатації у складі імплантера MBP-202 фірми «BALZERS».

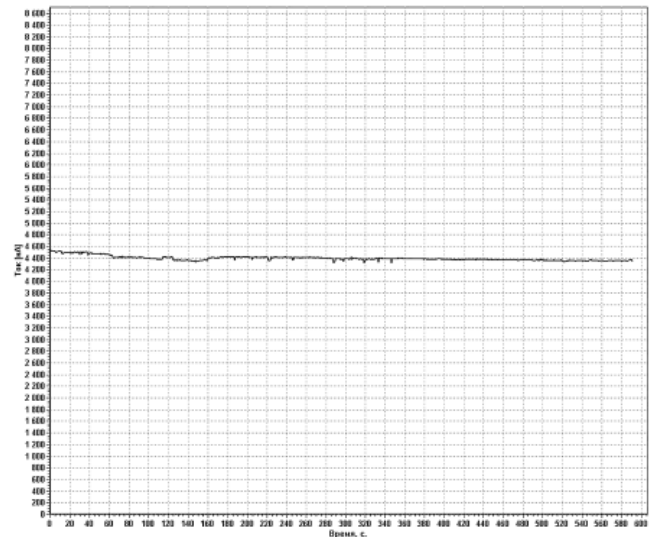


Рис. 6. Залежність іонного струму від часу роботи джерела для пучка іонів Al^+

ВИСНОВКИ

Отримані в цій роботі результати дозволяють відзначити наступне.

1. Розроблено надійний, недорогий та універсальний інжектор металевих іонів на основі розпилювального пеннінгівського джерела.

2. Для ефективної роботи створеного джерела в його емісійній камері сформовано область термалізованої концентрації атомів металу, а вздовж осі цієї області організовано осциляцію іонізуючих електронів.

3. Парціальне відношення іонів аргон/метал у сформованому пучку знаходиться в інтервалі 3–20 і залежить від розрядного струму та тиску газу в розрядній камері джерела.

4. Проведено моделювання та виготовлення іонно-оптичної системи формування іонного пучка в складі інжектора.

5. Розроблене джерело має високу стабільність іонного струму у часі.

6. Характеристики іонного інжектора повністю задовольняють критеріям його експлуатації у складі імплантера MBP-202 фірми «BALZERS» Інституту фізики напівпровідників НАН України ім. В.Є. Лашкарьова.

Важливо відмітити, що джерело просте в обслуговуванні і універсальне в тому, що може генерувати іони з будь-якого газу та будь-якого металу без використання високотемпературної печі для його випаровування.

Подальші дослідження будуть спрямовані на впровадження розробленого інжектора іонів металів в імплантер MBP-202 фірми «BALZERS» Інституту фізики напівпровідників НАН України, де будуть проведені його випробування при генерації в ньому іонів берилію, а по-

тім імплантацію іонів берилію в пластини з антимоніду індію. Це відкриває можливість ефективного впровадження цієї технології у промислове виробництво.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ткачов В.В., Камінський В.В., Степанов Г.С., Оріховський П.В. Погляди на організацію протиповітряної оборони в сучасних умовах. Наука і оборона. 2021. № 4. С. 13–16.
2. Гринченко Л.Я., Пономаренко В.П., Филачев А.М. Современное состояние и перспективы инфракрасной фотоэлектроники. Прикладная физика. 2009. № 2. С. 57–64.
3. Саенко В.А. Устройство термоионного осаждения (обзор). ПТЭ. 1985. № 3. С. 9–21.
4. Потемкин Г.В., Лигачев А.Е. Генератор многокомпонентной плазмы, получаемой катодным распылением. Взаимодействие излучений с твердым телом: 7-я Межд. конф. 26–28 сентября. 2007. Минск. Беларусь.
5. Браун Я. Физика и технология источников ионов. М.: Мир. 1998. 496 с.
6. Плешивцев Н.В. Катодное распыление. М.: Атомиздат. 1968. 347 с.
7. Gersch, H.-U. & Wittmaack, K. Postionization of sputtered neutrals by focused electron beam. J. of Vacuum Science and Technology A. 1993. Vol. 11. No. 1. Pp. 125–135.
8. Батурин В.А., Литвинов П.А., Пустовойтов С.А., Роенко О.Ю. Термализация и ионизация атомов рабочей среды в металлическом ионно-распылительном источнике. ВАНТ. 2021. № 6(136). С. 99–102. <https://doi.org/10.46813/2021-134-099>.
9. <http://ibsimu.sourceforge.net>.
10. Литвинов П.А., Батурин В.А., Пустовойтов С.А. Разработка и исследование источника ионов металлов для технологических ускорительных установок. Ж-л техн. физики. 2014. Т. 84. Вып. 4. С. 126–131.

REFERENCES

1. Tkachov, V.V., Kaminsky, V.V., Stepanov, G.S. & Orikhovsky, P.V. (2021). "Pogliady na organizatsiiu protypovitrianoi oborony v suchasnykh umovakh" [Look at the organization of counter-defense in today's minds], Science and defense. No. 4. Pp. 13–16.
2. Grinchenko, L.Ya., Ponomarenko, V.P. & Filachev, A.M. (2009). "Sovremennoe sostoiannie i perspektivy infrakrasnoi fotoelektroniki" [Current state and prospects of infrared photoelectronics], Applied Physics. No. 2. Pp. 57–64.
3. Saenko, V.A. (1985). "Ustroistvo termoionnogo osazhdeniia (obzor)" [Thermionic deposition device (review)], PTE. No. 3. Pp. 9–21.
4. Potemkin, G.V. & Ligachev, A.E. (2007). "Generator mnogokomponentnoi plazmy, poluchaemoi katodnym raspyleniem" [Multicomponent plasma generator produced by cathode sputtering], Interaction of radiation with a solid body: 7th Intern. Conf. September 26–28. Minsk. Belarus.
5. Brown, I.G. (2004). "Phizika i tekhnologiya istochnikov ionov" [The physics and technology of ion sources]. New York: Wiley. 396 p.
6. Pleshivtsev, N.V. (1968). "Katodnoe raspylenie" [Cathode sputtering], Atomizdat. M. 347 p.

7. Gersch, H.-U. & Wittmaack, K. Postionization of sputtered neutrals by focused electron beam. J. of Vacuum Science and Technology A. 1993. Vol. 11. No. 1. Pp. 125–135.
8. Baturin, V.A., Litvinov, P.A., Pustovoitov, S.A. & Roenko, O.Yu. (2021). "Termalizatsiia i ionizatsiia atomov rabochei sredy v metallicheskom ionno-raspylitelnom istochnike" [Thermalization and ionization of atoms of the working medium in a metal ion-spray source], VANT. No. 6 (136). Pp. 99–102. <https://doi.org/10.46813/2021-134-099>.
9. <http://ibsimu.sourceforge.net>.
10. Litvinov, P.A., Baturin, V.A. & Pustovoitov, S.A. (2014). "Razrabotka i issledovanie istochnika ionov metallov dlia tekhnologicheskikh uskoritelnykh ustanovok" [Development and research of a source of metal ions for technological accelerators]. J. of Techn. Physics. Vol. 84. No. 4. Pp. 126–131.

Baturin V., Litvinov P. Pustovoitov S., Roenko O.

DEVELOPMENT OF A BERYLLIUM ION INJECTOR FOR A TECHNOLOGICAL INSTALLATION FOR THE PRODUCTION OF INFRARED PHOTODETECTOR FOR GUIDANCE SYSTEMS

The article presents the development results of beryllium ions source and other metals intended for the development of the technological cycle of manufacturing infrared radiation receivers for night vision devices and missile guidance systems. The design of a plasma spray source of metal ions with a reflective discharge type and a cold hollow cathode, and on its basis a metal ion injector is proposed and developed. A compact source of metal/gas ions has been created in which by argon ion spraying of the cathode and anticathode electrode the formation of the phase of excess pressure of metal vapors is ensured and its ionization by oscillating electrons in the longitudinal magnetic field is realized. Extraction and formation of the beam containing ions of plasma-forming gas and metal is carried out through the emission hole in the anticathode.

The partial ratio of argon/metal ions in the formed beam is in the range of 3–20. The developed source has high ion current stability over time, easy to maintain, can generate ions from any conductive solid without using a high temperature furnace to evaporate.

Modeling and fabrication of the ion-optical system of ion beam formation as a part of the implanter of the Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine is carried out. Since the ion injector will be introduced into the ion implanter MBP-202 company «BALZERS» of the Institute of Semiconductor Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine V.Ye. Lashkaryova, an analysis of its optical and vacuum systems, as well as batteries is carried out. All these factors were taken into account during the development of the ion source, which will allow it to be seamlessly implemented in the MBP-202 implanter.

Keywords: *infrared photodetectors, beryllium ions, ion implanter, metal ion injector, metal ion source, ion-optical system.*

Відомості про авторів:**Батурін Володимир Андрійович**

кандидат фізико-математичних наук
старший науковий співробітник
заступник завідувача відділу
Інституту прикладної фізики НАН України
м. Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-6171-8575>
e-mail: baturin49@gmail.com

Литвинов Петро Олексійович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
Інституту прикладної фізики НАН України
м. Суми, Україна

Пустовойтов Сергій Олександрович

молодший науковий співробітник
Інституту прикладної фізики НАН України
м. Суми, Україна

Роєнко Олег Юрійович

молодший науковий співробітник
Інституту прикладної фізики НАН України
м. Суми, Україна

Information about the authors:**Volodymyr Baturin**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences
Senior Research Fellow
Deputy Head department
Institute of Applied Physics of the NAS of Ukraine
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-6171-8575>
e-mail: baturin49@gmail.com

Peter Litvinov

Candidate of Technical Sciences
Senior Research Fellow
Institute of Applied Physics of the NAS of Ukraine
Sumy, Ukraine

Sergey Pustovoitov

Junior Research Fellow
Institute of Applied Physics of the NAS of Ukraine
Sumy, Ukraine

Oleg Roenko

Junior Research Fellow
Institute of Applied Physics of the NAS of Ukraine
Sumy, Ukraine

УДК 623.983

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4\(36\).86-91](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).86-91)

A. V. DEREPA, Doctor of Technical Sciences, Professor
<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>

O. O. KOCHARIAN, Candidate of Technical Sciences
<https://orcid.org/0000-0002-3164-0129>
(Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

O. G. LEIKO, Doctor of Technical Sciences, Professor
<https://orcid.org/0000-0002-9363-9270>

E. A. SHISHKOVA, postgraduate
<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>
(National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv)

ANALYSIS OF POSSIBLE WAYS OF TECHNICAL IMPLEMENTATION OF POWERFUL ACOUSTIC RADIATION BY HYDROACOUSTIC STATIONS

Increasing the range of sonar stations is determined by the possibility of increasing the effective radiation of acoustic power. But these possibilities are limited by a number of physical factors related to the electric, mechanical and acoustic fields of sonar emitters. These limiting physical factors are determined and the connection of their influence on the value of radiated power of the sonar station is established. The dependence of this influence on the ways of technical realization of electric excitation of hydroacoustic emitters is shown. A qualitative analysis of the advantages and disadvantages of three fundamentally different ways of electrical excitation of emitters with increasing their radiated power is presented. The current state of the estimated support for the practical implementation of the above ways to increase the radiated capacity of sonar stations is established.

Keywords: hydroacoustic station, acoustic power, power limiting factors, exciting voltages.

INTRODUCTION

As is known [1, 2], the range of hydroacoustic stations (HAS) for various purposes in the echolocation mode is determined by the level of acoustic power that can be emitted by HAS. But the maximum levels of this power are limited for each HAS by a number of physical factors. These factors are related to the following. First, during the operation of the HAS in its sonar antenna, four physical fields are formed – electric, mechanical, acoustic and thermal. Secondly, in the mode of sound radiation, each HAS operates at the frequency of mechanical resonance of its sonar transducers, because at this frequency the transducers have the maximum value of the efficiency of energy conversion.

Each of these physical fields creates for the HAS its limiting factors in the mode of energy emission. In the acoustic field, the limiting factor of the magnitude of the radiated acoustic energy is the phenomenon of cavitation and the associated threshold of fluid cavitation. The phenomenon of cavitation (formation and rupture of bubbles in the liquid) mechanically destroys the radiating surfaces of the transducers and changes the specific acoustic resistance of the liquid, as cavitation bubbles act on the radiating surfaces of the transducers as an effective acoustically soft screen. This causes an increase in mechanical stresses in the structures of sonar transducers.

The presence of a mechanical field is the cause of physical factors limiting the amount of radiation. This is especially true of piezoceramic transducers, as piezoceramics are critical to tensile forces. Such efforts occur under the action of both static and dynamic loads. The first is created by hydroacoustic pressure, the second – by an electrical excitation signal. It is the last physical factor that imposes fundamental restrictions on the radiation of maximum acoustic power from the mechanical field.

For HAS, the maximum radiated power is determined by the maximum electric power that can be «pumped» into the piezoceramic transducer. The latter is limited by the allowable values of electric field strength. It is their magnitude that is the limiting physical factor in terms of the electric field.

The presence of the process of converting electrical energy into mechanical energy and mechanical energy into acoustic energy when radiating sound necessarily creates the appearance of a thermal field, which causes the heating of piezoceramic transducers. The maximum power also generates the maximum heating temperature of the transducers. This creates the risk of piezoceramics reaching the Curie point and thermal stresses. Therefore, the heating temperature is a limiting factor in the thermal field.

The purpose of this work is a qualitative and quantitative analysis of possible ways of controlled reduction of the influence of the above physical factors on the HAS radiation of maximum acoustic power.

RESEARCH RESULTS

Hydroacoustic antennas usually perform two functions – the function of energy conversion and the function of forming acoustic energy in elastic environments. In turn, each of these functions has its own characteristics [3, 4]. The first function is characterized by the connection between electric, mechanical and acoustic fields. The second function is characterized by the interaction of antenna elements in the acoustic field. The appearance of the acoustic interaction of antenna elements is due to the multiple exchange of radiated and reflected sound waves between them. Through the acoustic field, both functions also interact with each other. The described interactions of processes and fields in sonar antennas depend on many physical factors associated with antennas and their elements: the nature of the electrical excitation of the elements, their type, configuration, size and so on. Naturally, the influence of physical factors limiting the HAS radiation of maximum acoustic power will also depend on the results of the above interactions. We will

demonstrate this with the example of possible options for electrical excitation of transducers in antennas.

In HAS for various purposes, in principle, the following options for electrical excitation of emitters are possible:

- frequency independent electric voltage;
- frequency-dependent voltage;
- a combination of both of the above options.

Let us consider qualitatively the influences of the given variants of electric excitation of converters on the formation of power limiting factors.

To date, the most common in the creation of HAS found frequency-independent electrical excitation of their sonar antennas. This is primarily due to simpler technical solutions that can be used in the construction of powerful electronic generators for the paths of HAS radiation [5, 6]. They are divided into electron tube, thyristor and semiconductor. The problem of their work in the composition of the radiation paths of HAS is the wide changes in the input electrical resistance of HAS emitters. In this case, the active component of the input resistance can take negative values [7], which indicates that electrical energy is not taken by the emitters from the generators, but, on the contrary, is generated by the emitters and sent to the generators. The reactive component of the resistance in the frequency range several times changes the capacitive nature on the inductive and vice versa. Naturally, with such electrical excitation of HAS hydroacoustic antennas, the electric field strength is not a factor limiting the maximum power of HAS radiation. Instead, the physical limiting factor of the mechanical field, such as the mechanical dynamic stresses in the piezoceramics of the emitters, comes first.

It is known [5], that these stresses depend on the velocity of oscillations $\dot{w} = -i\omega w$ and are defined by the expression

$$\sigma = \rho_k c_k B,$$

where $\rho_k c_k$ – density and speed of sound in the piezoceramic material of the emitter; B – coefficient determined by the form of oscillations of the emitter; ω – oscillation frequency; w – maximum radial movement of the emitter surface; i – imaginary unit.

It is also known [4, 7, 8] that when the HAS emitters are excited by frequency-independent electric voltage, the oscillation velocities of all HAS emitters differ significantly and depend on the location of the emitter in the hydroacoustic HAS antenna. As an illustration Fig. 1 presents the results of calculations [8] of the amplitude-frequency characteristics of dynamic stresses in the central (1) and extreme (2) emitters of a circular antenna of three emitters in the sector radiation of HAS, (3) – isolated emitter.

Analysis of existing materials, including those listed, shows the following. Electrical excitation of HAS emitters by frequency-independent electric voltage not only negatively affects the energy efficiency of HAS, but also significantly complicates the coordination of generators with sonar antennas in the paths of HAS radiation. Significant differences in the oscillating speeds of HAS emitters do not allow to realize the full potential of HAS in terms of radiated power.

Since the levels of mechanical dynamic stresses are proportional, according to expression (1) to the values of

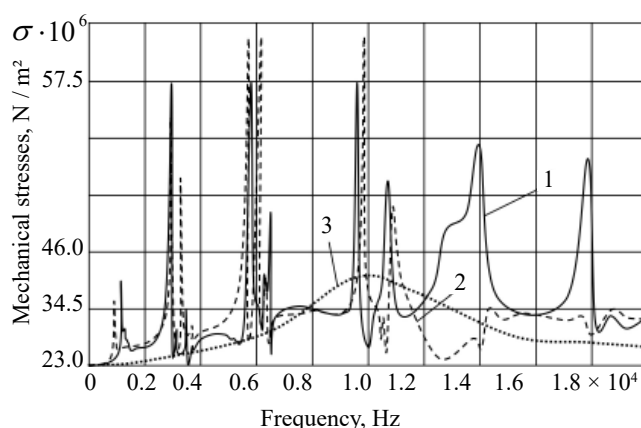


Fig. 1. Amplitude-frequency characteristics of dynamic stresses in the central (1) and extreme (2) emitters of a circular sonar antenna, as well as in an isolated emitter (3)

the oscillating speeds of the HAS emitters, there is always an oscillating speed, which is the limit $\dot{w}_{don}$ and above which comes the mechanical destruction of the radiator structure. The factor of limiting the acoustic power emitted by HAS by a mechanical field comes into force. Usually such emitters are extreme emitters in sonar antenna arrays, because they are acoustically underloaded in arrays by acoustic interaction of their emitters and have the highest oscillating speed. Medium emitters emit less acoustic energy into the environment than the extreme ones and central emitters may not absorb energy at all, but absorb energy from the acoustic field. This is due to the low energy efficiency of HAS at frequency-independent voltage generated by HAS generators to excite the emitters of its sonar antenna.

The above analysis shows that increasing the energy efficiency of HAS can be achieved by establishing control over the value of the limiting factor of the mechanical field. For this purpose it is necessary to create in HAS such conditions of electric excitation of its emitters at which oscillating speeds of all emitters of the hydroacoustic antenna of HAS will be identical. Moreover, their value can be taken equal to the maximum allowable speed $\dot{w}_{don}$. Analysis of the data published in the literature [4] shows that the maintenance in HAS of the same oscillating speeds of all emitters allows to:

- increase the radiated acoustic power of both individual emitters of the sonar antenna and the sonar antenna as a whole;
- exclude the effect of the transition of radiators from the mode of acoustic energy radiation to the mode of its absorption from the acoustic field;
- reduce the non-uniformity of frequency dependences of radiation impedances of HAS sonar antenna elements;
- reduce the heterogeneity of the acoustic field in the near zone of the hydroacoustic antenna HAS.

The given approach to electric excitation of HAS emitters allows to protect them effectively from the mechanical overloads caused both by cyclic change of exciting voltages from the electric field and cavitation loadings from the acoustic field. This is a positive of the chosen approach. At the same time, it should be noted that the increase in the energy capacity of HAS in this way is associated with the emergence of two extremely negative physical factors.

The first is a significant increase in all electrical voltages exciting the emitters. This is especially true for the frequency ranges below and above the natural frequencies of the mechanical resonance of the HAS emitters, due to the significant increase in the natural mechanical impedances of the piezoceramic shells of the emitters in these frequency ranges.

The second factor is the appearance of a certain dependence of excitation voltages on frequency.

As a demonstration of the above features of the behavior of exciting electrical voltages in the case of a cylindrical antenna formed of five coaxial piezoceramic shells, there are curves in Fig. 2 [4], where 1, 2, 3 and 1', 2', 3' correspond to the modulus and phase of the exciting electrical voltages of the central (3), middle (2, 4) and extreme (1, 5) shells.

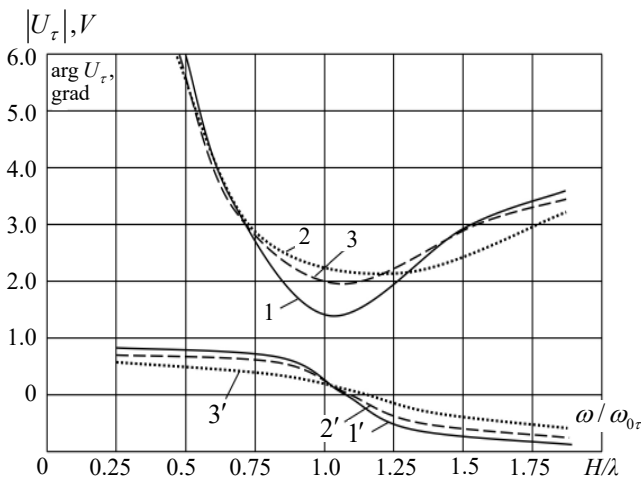


Fig. 2. Amplitude-frequency and phase-frequency dependences of electric excitation voltages of a five-element cylindrical antenna with the same oscillating speed of the rings

Thus, increasing the efficiency of HAS radiation by exciting its emitters with the same oscillating speed is possible under two conditions – the creation of frequency-dependent electrical excitations of HAS emitters and a significant increase in excitation voltage, that is the physical factor of limiting HAS radiation power.

The above analysis of the possibility of meeting these requirements with existing in acoustics thyristor and semiconductor generators shows that they do not meet the formulated requirements. Lamp generators can fully meet these requirements. But their inherent shortcomings – large size, low efficiency, large amounts of heat, etc., precluded their use in the construction of modern HAS. Thus, the modern technical base is not prepared for the implementation of increasing the acoustic power of HAS by creating frequency-dependent electrical excitation of HAS emitters.

From the point of view of possibilities of practical realization of increase of acoustic power of HAS the compromise variant [4] can be interesting. It is as follows. To avoid a significant increase in the excitation voltage in the HAS and thus control the limiting factor of the electric field, you need to set a certain amount of excitation voltage on one or more HAS emitters and on all HAS emitters to ensure the same oscillating speed. The results of such an

experiment (Fig. 3) for a cylindrical hydroacoustic antenna formed of five coaxial rings are presented in [4]. Fixed values of excitation voltages were given for the second and fourth rings and the same oscillating speed was set for all rings.

Analysis of the results shows that in a given frequency range exceeding one and a half octaves, a small (20 %) increase (Fig. 3c) in the excitation voltage occurs only for the central (3) ring, and the speed of all rings (Fig. 3b) are the same. Here are the powers emitted by each of the rings (curves 1, 2, 3) and the antenna as a whole. The above indicates that the increase in the effective radiation power of HAS can be done by technical implementation of a compromise version of its radiating path.

THE STATE OF METHODOLOGICAL SUPPORT FOR WAYS TO INCREASE THE ENERGY EFFICIENCY OF HAS

For the practical implementation of the above ways to increase the energy efficiency of HAS, you need to have new knowledge in all physical fields that provide radiation to the sound of HAS. This knowledge should be based on the interaction of electric, mechanical and acoustic fields in sound radiation, energy conversion, acoustic interaction of hydroacoustic antenna elements in the formation of energy in the environment and the interaction of the processes of conversion and energy formation. In mathematical terms, all these types of relationships are taken into account by the joint solution of the system of differential equations associated with the respective fields. For HAS with sonar antennas formed from cylindrical sonar radiators with circular polarization, the system of differential equations includes:

– Helmholtz equation describing the oscillatory motion of elastic media inside and outside the converters of the system:

$$\Delta \Phi_{js} + k_j^2 \Phi_{js} = 0; \quad (1)$$

– equations of motion of thin piezoceramic shells of emitters in displacements:

$$\begin{aligned} (1 + \beta_s) \frac{\partial^2 u_s}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial w_s}{\partial \varphi} - \beta_s \frac{\partial^3 w_s}{\partial \varphi^3} &= a_s \gamma_s \frac{\partial^2 u_s}{\partial t^2}; \\ -\frac{\partial u_s}{\partial \varphi_s} + \beta_s \left(\frac{\partial^3 u_s}{\partial \varphi_s^3} - \frac{\partial^4 w_s}{\partial \varphi_s^4} \right) - w_s + \frac{e_{33s}}{C_{33s}^E} r_s E_{\varphi_s} + \frac{a_s}{h_s} q_{rs} &= \\ &= a_s \gamma_s \frac{\partial^2 w_s}{\partial t^2}; \end{aligned} \quad (2)$$

– equations of forced electrostatics for piezoceramics:

$$\vec{E}_s = -\text{grad} \psi_s; \quad \text{div} \vec{D}_s = 0. \quad (3)$$

In expressions (1) – (3): S – the number of the emitter in the sonar antenna ($S = 1, \dots, N$) with N elements; j – acoustic field area number ($j = 1$ for the external field; $j = 2$ for internal); Δ – Laplace operator; Φ_{js} – speed potential S -th emitter in the j -th region; k_j – the wave number of the medium in the j -th region; u_s i w_s – circular and radial components of the vector of displacements of the points of the middle surface of the shell of the S -emitter; $\beta_s = h_s^2 / 12 r_{0s} (1 + e_{33s}^2 / C_{33s}^E \epsilon_{33s})$; $a_s = r_{0s}^2 / C_{33s}^E$; q_{rs} – external radiation load of the S -th emitter; C_{33s}^E , e_{33s} , ϵ_{33s} , γ_s –

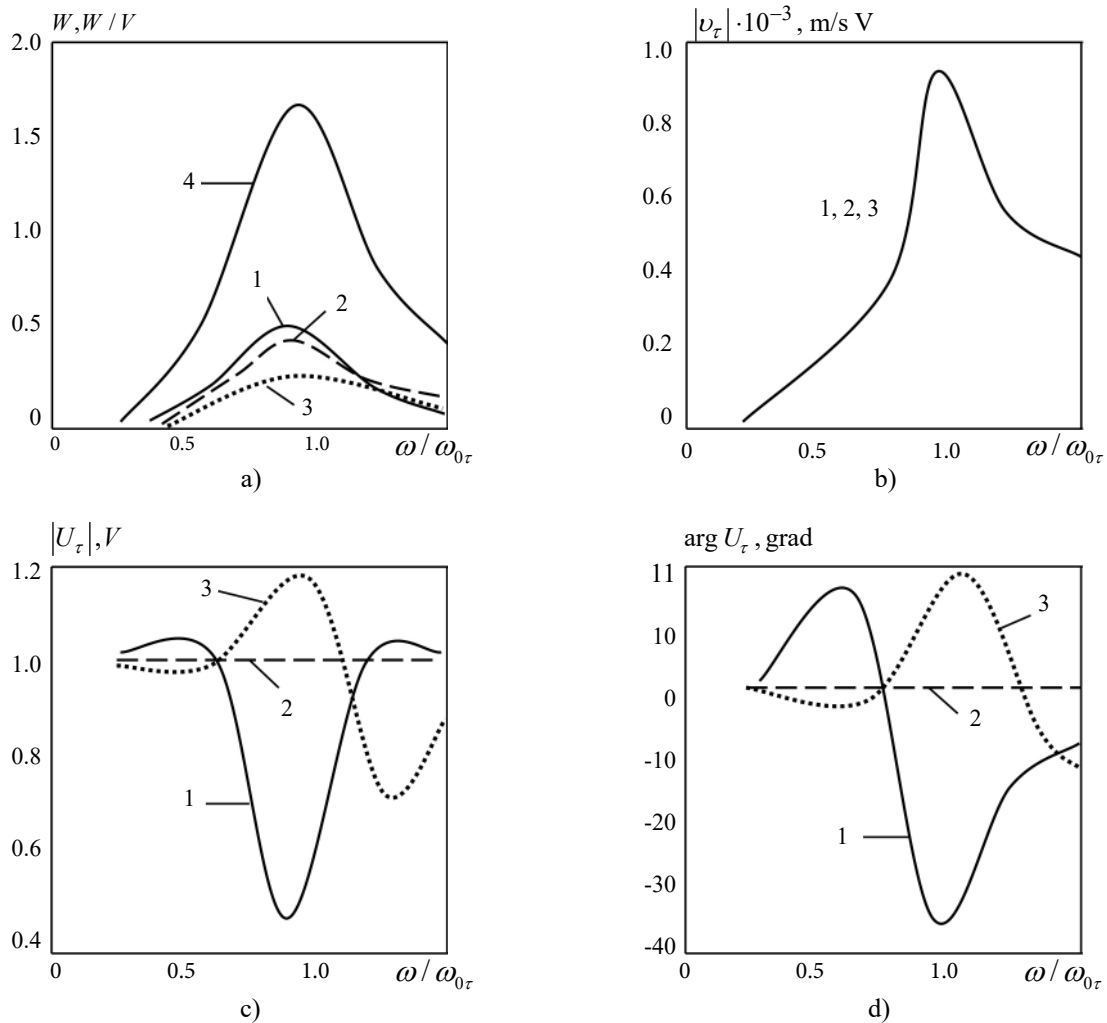


Fig. 3. Frequency dependences of acoustic power (a), oscillating speeds (b), amplitudes (c) and phases (d) of electrical excitation voltages of rings in a five-element cylindrical antenna with a compromise version of electrical excitation of rings and their same oscillating speed

respectively, the modulus of elasticity at zero electric stress, piezoelectric constant, dielectric constant at zero deformation, the density of the material of the S -piezoceramic emitter; $\vec{E}_S$ і $\vec{D}_S$ – vectors of electric field strength and induction in the S -th emitter; ψ_S – voltage of electric excitation of the S -th emitter; r_{0S} and h_S – the radius of the middle circle and the thickness of the shell of the S -th emitter.

The given system of differential equations describes the process of radiation of acoustic energy of HAS with hydroacoustic antennas on the basis of cylindrical converters at all considered schemes of electric excitation of radiators in HAS. The concretization of these schemes is achieved by setting boundary conditions.

When exciters are emitted in HAS frequency-independent electric voltage, the electric field strength in expression (2) is determined by the expression

$$E_{\varphi S} = -\frac{\psi_S M_S}{2\pi r_{0S}}, \quad S = 1, \dots, N, \quad (4)$$

where M_S – the number of piezoceramic prisms from which the shell of the S -emitter is glued.

Quantitative values of electric, mechanical and acoustic fields in the form of new knowledge and the ability to emit

maximum acoustic energy of HAS obtained [4, 7–11] for HAS with antennas in the form of linear sonar antennas with and without screens, flat antennas and circular cylindrical antennas with screens.

When the excitation of HAS emitters frequency-dependent electric voltage in expression (2) radial $\dot{w}_S$ and circular $\dot{u}_S$ oscillating speeds ($\dot{w}_1 = \dot{w}_S = \dot{w}_N$; $\dot{u}_1 = \dot{u}_S = \dot{u}_N$; $S = 1, \dots, N$) for all emitters are accepted by default. The desired are values of the electric field strengths of all $S = 1, \dots, N$ emitters. To date, the problem is that new knowledge are almost non-existent. Quantitative values for all fields were obtained [4] only for single cylindrical emitters. For arbitrary systems of such emitters, only analytical expressions for calculations of physical fields were obtained [12]. Technically, there are no implemented ways to build electronic generators that generate frequency-dependent excitation voltage.

To excite the HAS emitters with a compromise variant in expression (2) it is necessary to set the voltage for one emitter $E_{\varphi S}$ ($S = 1$) electric field, and for all HAS emitters ($S = 1, \dots, N$) the same oscillating speeds $\dot{w}_1 = \dot{w}_S = \dot{w}_N$ і $\dot{u}_1 = \dot{u}_S = \dot{u}_N$. Then, when solving the system of differential equations (1) – (3), the electric field voltages of all other emitters and the oscillatory velocities of all HAS emitters

will be sought. Unfortunately, today this version of acoustic power is impossible due to lack of necessary new knowledge [4].

CONCLUSIONS

It is shown that in HAS in the mode of echolocation of radiation of maximum acoustic power is limited by a number of physical factors, each of which is associated with a specific physical field that participates in the radiation of sound. These limiting factors include:

- cavitation threshold in the acoustic field;
- dynamic mechanical stresses in a mechanical field;
- electric field strength.

It is established that the influence of each of the limiting factors on the radiated HAS maximum power is determined by the nature of the electrical excitation of the HAS emitters. Three possible variants of electrical excitation of radiators are considered:

- frequency independent electric voltage;
- frequency-dependent electric voltage;
- compromise, which in some way combines the first two options for electrical excitation of HAS emitters.

The positive and negative sides of each of the above options for electrical excitation of HAS emitters influence on the limiting factors in terms of HAS radiation of maximum acoustic power is analyzed.

The existing state of the estimated support for the technical implementation of all three possible options for electrical excitation of HAS emitters when it emits maximum acoustic power is determined.

REFERENCES

1. Koryakyn, Yu.A., Smyrnov, S.A. & Yakovlev, H.V. (2005). "Korabelnaia hydroakusticheskaia tekhnika: sostoianie i aktualnye problemy" [Ship hydroacoustic equipment: state and current], Nauka, SPb. 410 p.
2. Sherman, C.H. & Butler, J.L. (2007). Transducers and Arrays for Underwater Sound. New York: Springer-Verlag Publ. 680 p.
3. Grinchenko, V.T., Vovk, I.V. & Matsypura, V.T. (2007). "Osnovy akustiki" [Fundamentals of acoustics], Nauk. Dumka. K. 640 p.
4. Grinchenko, V.T., Vovk, I.V. & Matsypura, V.T. (2018). Acoustic Wave Problems. Begell House. 439 p.
5. "Spravochnik po gidroakustike" [Handbook of hydroacoustics], Shipbuilding, L. 1988. 552 p.
6. Derepa, A., Leiko, O., Pozdniakova, O. & Maiboroda, O. (2020). On the peculiarities of matching an electric generator with an electromechanical energy transducers. 2020 IEEE 40th Intern. Conf. on Electronics and nanotechnology (ELNANO). K.: KPI. April 22–24. Pp. 842–847.
7. Nizhnik, O.I. (2017). "Viprominiuvannia gidroakustichnykh signaliv planarnymy antennymy reshirkamy, utvorenyymy iz cilindrichnykh pezoakamichnykh peretvoriuvachiv" [Radiation of sonar signals by planar antenna arrays formed from cylindrical piezoceramic transducers]. Dis. ... Kand. Tekhn. Nauk. NTUU KPI. Available at: /files/dissertation/dis_NyzhnykO.I.pdf.
8. Chepkov, I.B., Lapitskii, S.V., Zinkovskii, A.P., Leiko, A.G. & Derepa, A.V. (2019). Analysis of resonance states of the system of hydroacoustic piezoceramic radiators taking into account their interaction with the screen. Strength Mater. No 6. Pp. 25–35.
9. Gusak, Z.T. (2017). "Viprominiuvannia gidroakustichnykh signaliv cilindrichnymy pezoakamichnyymi peretvoriuvachami z ekranami" [Radiation of sonar signals by cylindrical piezoceramic transducers with screens]. Dis. ... Kand. Tekhn. Nauk. NTUU KPI. Available at: /files/dissertation/dis_Gusak_Z.T.pdf.
10. Starovoi, Ya.I. (2020). "Teoretichni osnovy proiektuvannia krugovykh antennnykh reshitok, utvorenykh iz tsilindrichnykh piezoakamichnykh viprominiuvachiv i ekranu" [Theoretical bases of designing circular antenna arrays formed from cylindrical piezoceramic emitters and screen]. Dis. ... Kand. Tekhn. Nauk. NTUU KPI. Available at: /files/dissertation/dis_Starovoi%20Y.I.pdf.
11. Sviatnenko, A.O. (2020). "Tsilindrichni piezoakamichni viprominiuvachi z vnutrishnimy ekranami" [Cylindrical piezoceramic emitters with internal screens]. NTUU KPI. Available at: /files/dissertation/dis%20Sviatnenko%20A.O.pdf.
12. Drozdenko, A.I. & Leiko, A.G. (2018). "Izluchenie maksimalnoi akusticheskoi moshchnosti sistemami gidroakusticheskikh tsilindricheskikh pezoakamicheskikh preobrazovatelei s okruzhnoi polarizatsiei" [Radiation of maximum acoustic power by systems of hydroacoustic cylindrical piezoceramic transducers with circumferential polarization], Mikrosistemy. Elektronika. Akustika. Vol. 23. № 1. Pp. 58–65.

Дерепа А.В., Лейко О.Г., Кочарян О.О.,
Шишкова К.А.

АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ШЛЯХІВ ТЕХНІЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ПОТУЖНОГО АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ГІДРОАКУСТИЧНИМИ СТАНЦІЯМИ

Збільшення дальності дії гідроакустичних станцій визначається можливостями збільшення ефективного випромінювання ними акустичних потужностей. Але ці можливості обмежуються рядом фізичних факторів, пов'язаних з електричними, механічними і акустичними полями випромінювачів гідроакустичних станцій. Кожне із вказаних фізичних полів створює для гідроакустичної станції свої обмежуючі фактори в режимі випромінювання енергії. В акустичному полі обмежуючим фактором виступає явище кавітації і пов'язаний з ним поріг кавітації рідини. Це обумовлює зростання механічних напружень в конструкціях гідроакустичних перетворювачів. Наявність механічного поля є причиною появи фізичних факторів, обмежуючих величину випромінювання, оскільки п'єзокераміка критична до розтягуючих зусиль. Максимальна випромінювана потужність визначається максимальною електричною потужністю, яку можна «закачати» в п'єзокерамічний перетворювач. Остання ж обмежується допустимими значеннями напруженості електричного поля. Саме їх величина є обмежувальним фізичним фактором зі сторони електричного поля. Наявність при випромінюванні звуку процесу перетворення електричної енергії в механічну,

а механічної в акустичну обов'язково породжує появу теплового поля, обумовлюючого розігрів п'єзокерамічних перетворювачів. Визначено ці обмежуючі фізичні фактори і встановлено зв'язок їх впливу на величину випромінюваної потужності гідроакустичної станції. Показана залежність цього впливу від шляхів технічної реалізації електричного збудження гідроакустичних випромінювачів. Проведено якісний аналіз переваг і недоліків трьох принципово різних шляхів електричного збудження випромінювачів при збільшенні ними випромінюваної потужності. Встановлено існуючий стан розрахункового забезпечення практичної реалізації наведених шляхів збільшення випромінюваних потужностей гідроакустичних станцій.

Ключові слова: гідроакустична станція, акустична потужність, фактори обмеження потужності, збуджуючі напруги.

Відомості про авторів:

Дерепа Анатолій Войткович

доктор технічних наук
професор
провідний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>

Кочарян Оксана Олександрівна

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник науково-дослідного відділу 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/0000-0002-3164-0129>

Лейко Олександр Григорович

доктор технічних наук
професор
професор кафедри акустики та акустoeлектроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>

Шишкова Катерина Андріївна

аспірант
Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>

Information about the authors:

Derepa Anatolii

Doctor of Technical Sciences
Professor
Leading Researcher of the Scientific Research Department of Navy Armament of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>

Kocharian Oksana

Candidate of Technical Sciences
Senior Research Associate of Scientific Research Department of Navy Armament of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3164-0129>

Leiko Olexsandr

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/0000-0002-5588-6449>

Shishkova Ekaterina

Postgraduate of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>

УДК 623.983

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4\(36\).92-97](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).92-97)**В. В. КОЛЕСНИК**<https://orcid.org/0000-0001-6838-8652>**О. М. ПОЗДНЯКОВА**, кандидат технічних наук<https://orcid.org/0000-0001-5382-1951>

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

С. М. АГЕЙКІН<https://orcid.org/0000-0003-0307-2088>

(Командування Військово-Морських Сил Збройних Сил України, м. Одеса)

ЩОДО СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ПРОТИМІННОЇ ОБОРОНИ ТЕРИТОРІАЛЬНОГО МОРЯ УКРАЇНИ

В статті розглянуто сучасний стан та тенденції розвитку протимінної оборони провідних країн світу, визначено основні напрямки розвитку корабельної та авіаційної компоненти систем протимінної оборони та їх складових. Розглянуто архітектурні та конструктивні особливості кораблів протимінної оборони. Визначено, що програми розробки нових засобів протимінної оборони передбачають створення тих чи інших систем відповідно до визначених розмежувань моря за глибиною. Проаналізовано можливості лазерної системи виявлення мін, її конструктивні особливості та можливості бойового застосування. З'ясовано, що обов'язковим елементом системи протимінної оборони мають бути автономні надводні, підводні безекипажні та дистанційно-керуємі апарати. Надано рекомендації щодо створення системи протимінної оборони територіального моря України.

Ключові слова: протимінна боротьба, територіальне море, система протимінної оборони, мінна загроза.

ВСТУП

Морська мінна зброя [1] на сьогоднішній день залишається ефективним засобом боротьби та стримування на морських театрах ведення бойових дій. Завдяки невисокій собівартості, зручності зберігання, технічного обслуговування та простоті постановки вона отримала широке застосування. Як свідчать сучасні джерела інформації, в арсеналах більш ніж 50-ти держав нараховується більш ніж 300 тисяч морських мін майже 300 типів. Більше 30 країн спроможні виробляти морські міни, а більше 20-ти є їхніми експортерами. Цей вид зброї знаходиться на озброєнні всіх морських держав.

З покращенням тактико-технічних характеристик морських мін і поширенням можливих районів їх засто-

сування підвищується й мінна небезпека для бойових кораблів, цивільного судноплавства та об'єктів морської інфраструктури. Особливо вона велика в прибережних районах. Мінна загроза потребує комплексного вирішення цієї проблеми, з врахуванням досвіду передових морських держав.

Метою статті є аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку протимінної оборони провідних країн світу та вироблення рекомендацій щодо створення системи протимінної оборони територіального моря України.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

При вирішенні вищевикладеного питання треба враховувати: зони, в яких будуть проводитись операції протимінної оборони (морська зона, берегова зона), вогневий вплив противника на проведення протимінної оборони (ПМО), склад сил і засобів ПМО (при їх наявності), спроможність економіки країни та її військово-промислового комплексу щодо фінансування та створення власної системи ПМО або закупівля цієї системи в інших країн.

Сьогодні найбільш ефективними засобами боротьби з мінами в морській зоні є спеціалізовані протимінні кораблі, які класифікуються, як тральщики-шукачі мін [2] водотоннажністю більше 1100 тон.

Протимінні кораблі характеризуються значно нижчим рівнем фізичних полів і підвищеною вибухостійкістю. Вони оснащуються автоматизованими навігаційними системами; системою управління протимінною операцією, яка включає елементи протимінного озброєння та засоби управління кораблем при пошуку та знищенні мін; спеціальним двигунно-рушійним комплексом (гвинт регульованого кроку, крильчаті рушії, висувні рушійно-рульові колонки, спеціальні установки малого ходу та підкермовуючі пристрої), які забезпечують малі швидкості пошукового ходу протягом тривалого часу, високу маневреність (в тому числі на малих швидкостях і на стопі) та можливість утримання місцеположення при використанні гідроакустичних станцій (ГАС) мінного пошуку та ненаселених підводних апаратів (НПА). Цей тип кораблів має засоби для забезпечення роботи водолазів-мінерів.

Обов'язковим озброєнням даного типу кораблів є НПА, призначений для пошуку, ідентифікації та знищення мін. Для знищення мін застосовують вибухові заряди, недорогі керуємі кабелем одноразові апарати, які можуть застосовуватись безпосередньо з борту протимінного корабля чи встановлюватись замість підривного заряду на нових моделях НПА, або за допомогою дронів-самогубців.

Деякі типи протимінних кораблів обладнуються контактними та неконтактними тралями. Вони зберігають свою значимість через недостатню на сьогоднішній день ефективність застосування НПА в поганих погодних та гідрологічних умовах, при великій кількості несправжніх цілей, а також для знищення простих контактних та неконтактних мін старих зразків.

У США, Великій Британії та Німеччині будівництво спеціалізованих кораблів ПМО нових проєктів не планується. При цьому застосовуються великі зусилля для продовження термінів служби тральщиків, що знаходяться в строю та оснащення їх більш сучасним протимінним

озброєнням. Після закінчення терміну експлуатації вони будуть поетапно виводитись зі складу ВМС.

Відсутність перспективних програм створення спеціалізованих кораблів ПМО нового покоління в цих країнах пояснюється рядом причин. Ці кораблі іноді просто неможливо швидко перебазувати у віддалені райони бойових дій в силу їх обмеженої морехідності, невеликої автономності та дальності плавання, необхідності надійного прикриття при перебазуванні, низькій бойовій стійкості.

Через їхні архітектурні та конструктивні особливості, а також обмежену водотоннажність на таких кораблях дуже часто не вдається розмістити нові види протимінного озброєння, під яке вони не проєктувались. При виконанні операцій з пошуку і знищення мін корабель повинен заходити в райони мінних постановок, ставлячи під загрозу екіпаж, а це не в повній мірі відповідає сучасним вимогам безпеки в ході виконання поставленої задачі.

Враховуючи недоліки кораблів ПМО, а також специфіку їх застосування в умовах регіональних конфліктів і бойових дій в прибережних водах противника на віддалених театрах воєнних дій, ці три країни пропонують інший підхід до ПМО. Основні зусилля їхніх спеціалістів направлені на розробку безекіпажних протимінних систем різного типу – надводних, підводних, авіаційних, що здатні виконувати різні види протимінних дій – від пошуку до знищення мін.

Проводяться роботи зі створення більш якісних засобів збору інформації, навігації та зв'язку, а також енергозабезпечення безекіпажних підводних апаратів (БПА), збільшуються їх «інтелектуальні можливості». Планується інтегрувати БПА в єдині системи, використовувати більші надводні безекіпажні катери для доставки менших БПА в мінно небезпечні райони, координувати роботу системи апаратів на значній віддаленості від районів мінних постановок. Протимінна оборона є невід'ємним елементом при реалізації концепцій ВМС США «Удар з моря», «Морський щит» та «Морське базування» [3], виконання яких забезпечує морську могутність цієї країни. Сучасна стратегія використання американських ВМС передбачає проведення операцій переважно в прибережній зоні противника, де висока імовірність застосування ним мінної зброї. Тому США приділяють велику увагу захисту кораблів від мін в цій зоні та протимінному забезпеченню десантних операцій.

Наявність тральщиків морської зони у сил самооборони Японії обумовлюється її островним місцезнаходженням, наявністю великих глибин безпосередньо біля самого узбережжя та можливістю країн-агресорів скритим способом встановлювати міни в територіальних водах. ВМС Данії та Бельгії замовили по 6 тральщиків морської зони в контексті застосування їх в спільних морських операціях країн-НАТО. Решта країн має в основному протимінні кораблі базової зони (водотоннажністю 450–750 т).

Для прибережних районів введені наступні розмежування за глибиною [4]: глибоководні райони (більше 60 м), райони з малими глибинами (60–12 м), з дуже малими (12–3 м) глибинами, зона утворення прибіжних хвиль з глибинами від 3 м і до узрізу води. Такий роз-

поділ ґрунтується на відмінностях в зовнішніх умовах і типах мін, що застосовуються, а також на обмеженнях в можливостях застосування протимінних засобів. Поняття «плацдарм висадки десанту» [5] характеризує район, що починається від узрізу води та простягається на відстань, яку десант проходить берегом. Програми розробки нових засобів протимінної оборони передбачають створення тих чи інших систем відповідно до вказаних розмежувань.

Лазерна локаційна система AN/AES-1 виробництва компанії Northrop Grumman (США) призначена для ефективного пошуку, виявлення, класифікації та визначення точних координат плаваючих, дрейфуючих морських мін, що знаходяться на відстані до 15 м від поверхні води (рис. 1).

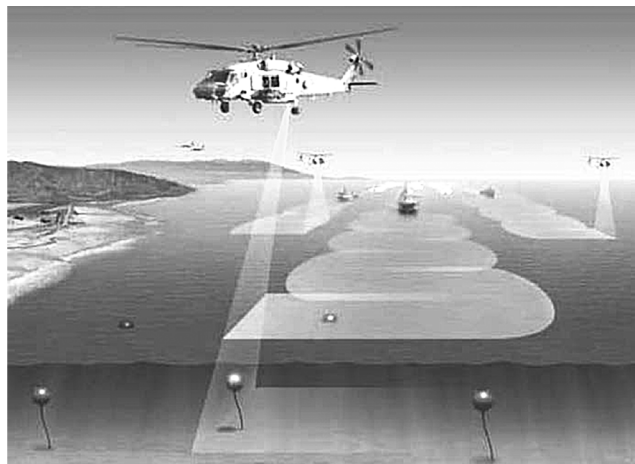


Рис. 1. Візуалізація лазерної локаційної системи пошуку мін

Система забезпечує великий огляд акваторії за один прохід на великій швидкості. AN/AES-1 представляє собою лазерну локаційну систему контейнерного типу, в якій відсутні складні механізми приводу скануючого блоку. В якості носія цієї системи виступає вертоліт MH-60S «Knight Hawk» [6]. Контейнер з системою AN/AES-1 підвішується на пілоні з лівого борту вертольоту. Напрямок лазерного променя – вниз-вперед по курсу польоту носія. В контейнері знаходиться апаратура системи з основними масово-габаритними характеристиками: довжина – 2,72 м, діаметр – 0,533 м, вага – 365 кг.

В контейнері розміщені: система життєзабезпечення, центральний відсік з блоками електронної апаратури, система герметизації (наддуву) контейнера, лазерний блок (разом з лазерним передавачем), приймач відбитих від перешкод променів лазера, в якості яких використані чотири фотокамери, а також блок живлення та контрольний блок. Управління роботою AN/AES-1 здійснюється з приладової дошки в кабіні вертольоту MH-60S, туди ж виводяться данні – результати сканування водного простору.

Лазерний блок побудований на базі лазерного локатора – лідара, з імпульсним твердотільним лазером на ітрій-алюмінієвій основі з робочою довжиною хвилі 532 нм, тривалістю імпульсу 9 нс та робочою частотою 100 Гц. Лідар [7] для цієї системи був розроблений фахівцями компанії «Arete Associates» на базі спеціаль-

ної технології, що отримала назву STIL (Streak Tube Imaging LIDAR). В даному випадку в робочому контурі використовується імпульсний лазерний випромінювач та електронно-оптичний пристрій (камера) з часовою роздільною здатністю, що дозволяє отримати тривимірну картинку з високою, не гірше 1,25 см, роздільною здатністю.

Японські ВМС самооборони закупили 4 системи виявлення мін ALMDS (Laser Mine Detection System) (рис. 2). Система ALMDS встановлена на борту вертольотів ВМС Японії та призначена для виявлення мін в акваторіях, що безпосередньо підходять до берегової лінії. Розміщення системи на борту вертольотів MCH-101 дозволяє протягом одного польоту обстежити великі акваторії та значно скоротити часовий інтервал від виявлення до нейтралізації мінної загрози.



Рис. 2. Підвісна лазерна система виявлення мін ALMDS

Система AN/AES-1 інтегрована в склад «Авіаційної системи швидкої нейтралізації мін» або RAMICS (Rapid Airborne Mine Clearance System), що призначена для боротьби з плаваючими, якірними та донними мінами, що виявляються різними системами ПМО, в тому числі лазерною локаційною та має 30-мм артилерійську установку Mk.44 «Bushmaster» або 30-мм артилерійську установку спеціальних снарядів за принципом суперкавітації.

Важливим елементом, що дозволяє здійснювати пошук і тралення мін, є система точної навігації PINS (Precise Integrated Navigation System). Вона забезпечує відображення тактичних та навігаційних даних, таких як шлях корабля, виявлення цілі, межі мінно небезпечних районів та інші, що накладаються на навігаційну карту.

Модернізований варіант системи PINS має позначення AN/SSN-2(V) 5. В AN/SSN-2(V) 5 покращено взаємодію з системою оцінки умов навколишнього середовища та планування мінних постановок та протимінних дій MEDAL (Mine Warfare Environmental Decision Aids Library). Вона складає програмне забезпечення збору поточних даних про навколишнє середовище BSP (Battle Space Profiler) (температура, солоність, швидкість розповсюдження звуку, швидкість течії та інші параметри).

Система MEDAL є частиною глобальної системи командування та управління GCCS-M, що забезпечує

доступ до бази даних про навколишнє середовище за минулі періоди (глибини, характеристики дна, течії, особливості води та ін.) та до бази даних з описом типів мін. Ця інформація використовується при плануванні протимінних операцій, оцінці характеристик протимінних систем та для вирішення інших задач.

Одним з пріоритетних напрямків розвитку бойових засобів ПМО ВМС передових європейських країн вважається створення автономних безкіпажних підводних апаратів (АБПА) та дистанційно керуємих підводних апаратів (ДКПА).

Приймаючи до уваги досягнутий рівень технологій, АБПА та ДКПА спроможні, без ризику для особового складу, ефективно вирішувати цілий ряд бойових завдань: пошук, виявлення, ідентифікація та знищення більшості типів контактних і неkontaktних типів мін, ведення гідроакустичної розвідки, збір гідрографічної та батиметричної інформації, викриття системи протидесантної та підводно-диверсійної обстановки противника в районах операцій, що плануються, розвідка підводних гідротехнічних споруд та інфраструктури пунктів базування, обстеження корпусів кораблів (суден) та ряд інших.

На сьогодні погляди командування ВМС європейських держав на призначення і місце АБПА та ДКПА в структурі ПМО дозволила сформулювати загальні вимоги до них, і як наслідок уніфікувати реалізацію конструктивних рішень та склад бортової апаратури різних зразків.

Сучасні АБПА оснащені комплексом систем і пристроїв, що забезпечують самостійний рух апаратів під водою. Більшість з них мають корпус у вигляді торпеди з енергетичною установкою, що живиться від літій-іонної акумуляторної батареї. Управління здійснюється автономно за програмою, закладеною в пам'ять бортового комп'ютера, з використанням інерційної бортової навігаційної системи та доплерівського лагу з періодичним уточненням (при підвсплитті) місцеположення за даними космічної радіонавігаційної системи «Навстар» [8].

Бортова пошукова апаратура може включати: гідролокаційну станцію переднього огляду; гідролокатор бокового огляду (ГБО), що забезпечує одночасне виявлення підводних об'єктів в широкій смузі, за рахунок використання встановлених з обох боків акустичних антен, характеристики направленості яких орієнтовані перпендикулярно діаметральній площині апарату; цифрову відеокамеру; датчики для вимірювання параметрів морської води та ін. Отриманні дані записуються на жорсткий магнітний накопичувач для наступного детального аналізу результатів проведеної операції після підйому АБПА на борт носія або повернення його в район запуску.

Для забезпечення двостороннього зв'язку між пунктом управління (оператором) та АБПА в позиційному положенні використовується абонентська апаратура комерційної системи персонального супутникового зв'язку «Ірідіум» (робочі частоти 1616–1626,5 МГц). В склад бортового обладнання також може входити апаратура звукопідводного зв'язку. Серед автономних безкіпажних підводних апаратів та дистанційно керуємих підводних апаратів ВМС європейських країн найбільшу цікавість

викликають зразки, розроблені в останні роки у Великобританії, Франції, Німеччині, Норвегії та Швеції.

У Великобританії разом з застосуванням в інтересах флоту апаратів закордонного виробництва (наприклад, американських «Ремус-600» (рис. 3)) значна увага приділяється створенню вітчизняної підводної роботизованої техніки.



Рис. 3. АБПА «Ремус-600»

Спеціалістами компанії «BAE System» створений протимінний АБПА «Талісман-М». Цей апарат має наступні тактико-технічні характеристики (ТТХ): вага – 1,8 т, довжина – 4,8 м, ширина – 2,3 м, висота – 1,1 м, робоча глибина застосування до 300 м, тривалість роботи – 24 год. (при пошуковій швидкості – 5 вуз), радіус дії 50 миль. В нього двокорпусна конструкція в формі «скату» (рис. 4). Обидва корпуси виготовлені з вуглепластику та розраховані на максимальну глибину занурення до 350 м. Апарат оснащений ГАС переднього та бокового огляду з синтезованою апертурою антени (ширина смуги пошуку 150 м, робоча частота 455 кГц).



Рис. 4. АБПА «Талісман-М»

Крім того, в якості корисного вантажу можуть використовуватись до чотирьох ДКПА разової дії «Арчерфіш» того ж виробника.

У Франції розробкою підводних апаратів протимінної оборони займається компанія «ЕСА». Для ведення мінної розвідки в районах з глибинами до 150 м розроблений переносний АБПА «Коастер» (рис. 5). Він

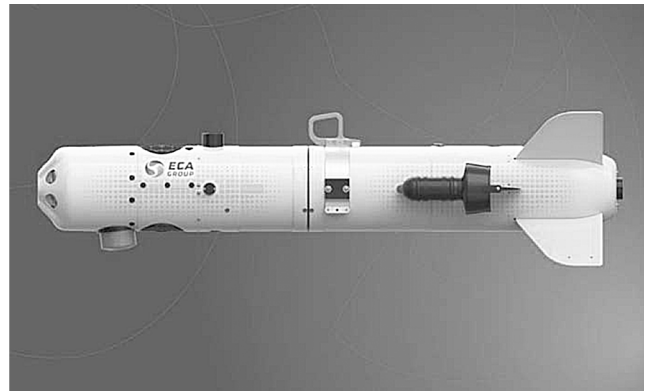


Рис. 5. АБПА «Коастер»

має наступні ТТХ: вага – 65 кг, довжина – 2 м, діаметр корпусу – 230 мм, швидкість ходу 2–3 вуз, тривалість роботи – 16 год. Апарат оснащений ГБО, відеокамерою, освітлювачами, датчиками температури, тиску та солоності морської води, а також апаратурою звукопідводного зв'язку.

Для знищення морських мін різних типів на глибині до 300 м на озброєнні ВМС Франції є ДКПА разової дії «К-стер» (вага 50 кг, довжина 1,45 м, діаметр корпусу 230 мм, швидкість ходу 6 вуз, тривалість виконання завдання до 1 год., радіус дії 1000 м). Особливістю його конструкції є поворотний в вертикальній площині (кути від – 90° до + 90°) носовий відсік з бойовим зарядним відділенням (вага вибухової речовини 6 кг). Це забезпечує оптимальний кут впливу на міну кумулятивним струменем (рис. 6).

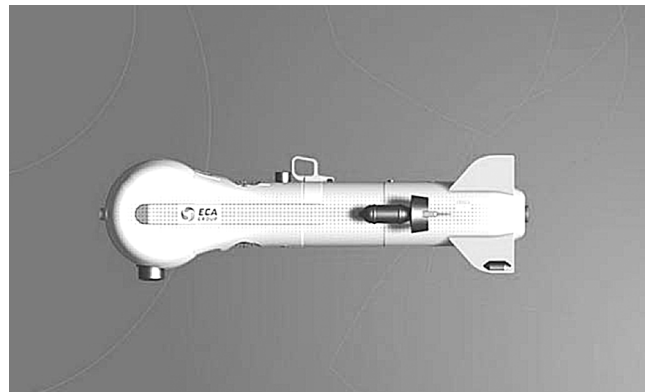


Рис. 6. ДКПА «К-стер»

Розглянувши сучасний стан та тенденції розвитку засобів ПМО передових морських держав та враховуючи глибини територіального моря України (до повернення незаконно анексованої АР Крим), розглянемо перспективи розвитку ПМО України на прикладі сил і засобів ПМО країн НАТО, що діють в прибережних районах моря (рис. 7).

До складу системи ПМО рекомендовано віднести:

1. Орган управління протимінної діяльності, що буде входити в Державну інтегровану систему висвітлення надводної та підводної обстановки.

2. Пересувні пункти управління ведення протимінних заходів на морі.

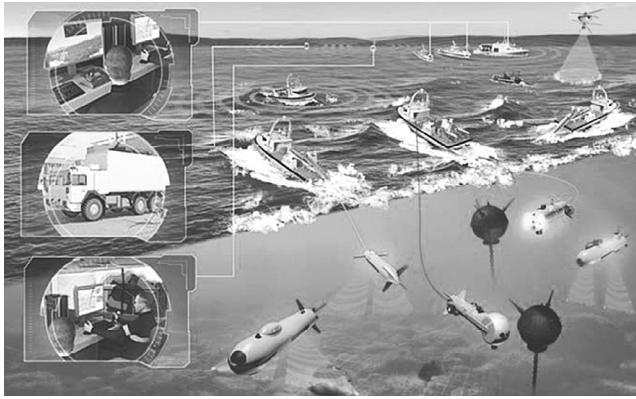


Рис. 7. Візуалізація сил і засобів ПМО

3. Авіаційна складова: на базі вертольоту типу MH-60S «Knight Hawk» або Mi-14 ПЧ (ПР), що обладнані лазерною системою виявлення мін ALMDS.

4. Корабельна складова: на базі безекіпажних катерів типу «INSPECTOR MK2», з автономними безпілотними підводними апаратами типу «Ремус-600» або «Коастер» та ДКПА для знищення морських мін разової дії «К-стер».

ВИСНОВКИ

В умовах збройної агресії РФ і, як наслідок, блокування морських портів, перешкоджання цивільному судноплавству шляхом виставлення морських мінних загороджень потребує негайного створення системи протимінної оборони територіального моря України.

Створення сучасної протимінної оборони потребує системного підходу та розуміння взаємопов'язаних між собою процесів спостереження за надводною, підводною обстановкою, пошуком, виявленням та знищенням морських мін.

Протимінна оборона, як підсистема, обов'язково повинна бути інтегрована в Державну інтегровану систему висвітлення надводної та підводної обстановки.

Відсутність вітчизняних ресурсів для симетричного протистояння країні-агресору в протимінній боротьбі змушує створювати систему протимінної оборони, спираючись на досвід передових морських держав та закуповувати у них окремі засоби протимінної боротьби.

Розвиток військової підводної робототехніки є ключовою темою в системі протимінної оборони будь-якої морської держави.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Заблоцький В. Мінна загроза на морі. Київ: Defense Express. 2020. № 4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://defence-ua.com/army_and_war/minna_zagroza_na_mori-210.
2. Watts? A.J. Jane's Warship Recognition Guide. Revised ed. Harper Collins. 2007. 384 с.
3. Бакшт Ю.В., Люфенфельд Е.Г., Русецкий А.А. Гребные винты регулируемого шага. Л.: Судпромгиз. 1961. 328 с.
4. Грузинов В.И. Крыльчатые движители. Л.: Судостроение. 1973. 136 с.
5. Движительно-рулевые и подруливающие устройства. Документация. Требования к конструкции. Расчеты. Испытания. Руководство. М. 2006. С. 9–12.
6. Морська доктрина США. Вашингтон. 2007. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1001890.pdf>.
7. Шовгенів І. Чорне море. Гідрографічний нарис Чорного моря та його басейну. Мюнхен. 1941. 36 с.
8. Огарков Н.В. Радянська військова енциклопедія. Линия – Объектовая. М.: Воениздат. 1978. С. 399–400.
9. Іден П. Sikorsky H-60 Black Hawk/Seahawk. Енциклопедія сучасної військової авіації. Amber Books. 2004. С. 431.
10. Middleton, W.E.K. & Spilhaus, A.F. (1953). Meteorological instruments. Univ. of Toronto. 300 p.
11. Peebles, C. (1997). High Frontier The US Air Force and the Military Space Program. Н. 44. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA442844.pdf>.
12. Heger W. GSM vs. CDMA. GSM Global System for Mobile Communications. Proc. of the GSM Promotion Seminar 1994 GSM MoU Group in Cooperation with ETSI GSM Members. 15 December 1994. Pp. 3.1-1–3.1-18.

REFERENCES

1. Zablotsky, V. (2020). "Minna zahroza na mori" [Mine threat at sea], Defense Express. K. № 4. Available at: https://defence-ua.com/army_and_war/minna_zagroza_na_mori-210 (accessed 18 June 2022).
13. Watts? A.J. Jane's Warship Recognition Guide. Revised ed. Harper Collins. 2007. 384 с.
2. Baksht, Yu.V., Lofenfeld, E.G. & Rusetsky, A.A. (1961) "Grebnyie vinty reguliruemogo shaga" [Adjustable pitch propellers], Sudpromgiz. L. 328 p.
3. Gruzinov, V. I. (1973). "Krylchatye dvizhiteli" [Vane propellers], Shipbuilding. L. 136 p.
4. "Dvizhitelno-rulevye i podrulivaiushchie ustroistva. Dokumentatsiia. Trebovaniia k konstruksii. Raschety. Ispytaniia. Rukovodstvo". [Propulsion-steering and thrusters. Documentation. Design requirements. Calculations. Tests. Guide]. М. 2006. Pp. 9–12.
5. "Morska doktryna SSHA" [Maritime Doctrine of the United States]. Washington. 2007. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/AD1001890.pdf> (accessed 18 June 2022).
6. Shovgenov, I. (1941) "Chorne more. Hidrografichnyi narys Chornogo moria ta ioho baseinu" [Black Sea. Hydrographic sketch of the Black Sea and its basin]. Munich. Pp. 32–36.
7. Ogarkov, N.V. (1978) "Radianska viiskova entsyklopediia. Lymia–Obektovaia" [Soviet military encyclopedia. Line-Object], Voenizdat. M. Pp. 399–400.
9. Eden, P. (2004) Sikorsky H-60 Black Hawk/Seahawk. "Entsyklopediia suchasnoi viiskovoi aviatsii" [Encyclopedia of Modern Military Aviation], Amber Books. 431 p.
14. Middleton, W.E.K. & Spilhaus, A.F. (1953). Meteorological instruments. Univ. of Toronto. 300 p.
15. Peebles, C. (1997). High Frontier The US Air Force and the Military Space Program. Н. 44. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA442844.pdf>.
16. Heger W. GSM vs. CDMA. GSM Global System for Mobile Communications. Proc. of the GSM Promotion Seminar 1994 GSM MoU Group in Cooperation with ETSI GSM Members. 15 December 1994. Pp. 3.1-1–3.1-18.

Koliesnik V., Pozdniakova O., Aheikin S.**STATE AND TRENDS OF MINE DEFENSE
DEVELOPMENT OF LEADING COUNTRIES
OF THE WORLD AND DEVELOPMENT
OF RECOMMENDATIONS FOR THE CREATION
OF THE MINE DEFENSE SYSTEM
OF TERRITORIAL SEA OF UKRAINE**

The current state and tendencies of mine defense development of the leading countries of the world are considered in the article, the main directions of development of ship and aviation components of mine defense systems and their components are determined. Architectural and design features of mine defense ships are considered. It is determined that the programs of development of new means of mine defense provide for the creation of certain systems in accordance with certain delimitations of the sea in depth. The possibilities of the laser mine detection system, its design features and the possibilities of combat application are analyzed. It was found that autonomous surface, underwater unmanned and remote-controlled devices should be a mandatory element of the mine defense system. Recommendations on the creation of a mine defense system of the territorial sea of Ukraine are given.

Sea mine weapons today remain an effective means of combating and deterring naval theaters of war. Due to low cost, ease of storage, maintenance and ease of installation, it has been widely used. According to modern sources of information, in the arsenals of more than 50 countries there are more than 300 thousand sea mines of almost 300 types. More than 30 countries are capable of producing sea mines and more than 20 are their exporters. This type of weapon is in service with all maritime powers.

With the improvement of the tactical and technical characteristics of sea mines and the expansion of possible areas of their application, the danger of mines for warships, civilian shipping and marine infrastructure is increasing. It is especially large in coastal areas.

The mine threat requires a comprehensive solution to this problem, taking into account the experience of advanced maritime powers.

The purpose of the article is to analyze the current state and trends in mine defense of the world's leading countries and to make recommendations for the creation of a mine defense system of the territorial sea of Ukraine.

In the conditions of armed aggression of the Russian Federation and, as a consequence, blocking of seaports, obstruction of civil navigation by exposing sea mine barriers requires immediate creation of a system of mine defense of the territorial sea of Ukraine. The development of modern mine defense requires a systematic approach and understanding of the interrelated processes of monitoring the surface, underwater environment, search, detection and destruction of sea mines. Mine defense, as a subsystem, must be integrated into the State Integrated Surface and Underwater Lighting System.

Lack of domestic resources for symmetrical confrontation with the aggressor country in mine defense, forcing the

creation of a mine defense system based on the experience of advanced maritime powers and purchase from them some means of mine action. The development of military underwater robotics is a key topic in the mine defense system of any maritime state.

Keywords: mine action, territorial sea, mine defense system, mine threat.

Відомості про авторів:**Колеснік Володимир Володимирович**

старший науковий співробітник науково-дослідного відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6838-8652>
e-mail: torpedo_65@ukr.net

Позднякова Ольга Миколаївна

кандидат технічних наук
молодший науковий співробітник науково-дослідного відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5382-1951>
e-mail: olpozdnjakova@gmail.com

Агейкін Сергій Миколайович

начальник служби мінно-торпедного озброєння Озброєння командування логістики Командування Військово-Морських Сил Збройних Сил України
м. Одеса Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0307-2088>
e-mail: super.serghio@ua.fm

Information about the authors:**Volodymyr Koliesnik**

Senior Research Associate of the Department of Armament and Military Equipment of Navy of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6838-8652>
e-mail: torpedo_65@ukr.net

Olha Pozdniakova

Candidate of Technical Sciences
Junior Researcher of the Department of Armament and Military Equipment of Navy of Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5382-1951>
e-mail: olpozdnjakova@gmail.com

Serhii Aheikin

Chief of Mine and Torpedo Weapons Service of Logistics Command of Navy of Armed Forces of Ukraine
Odesa, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0307-2088>
e-mail: super.serghio@ua.fm

УДК 623.4.017

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4\(36\).98-105](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).98-105)

Б. М. ЛАНЕЦЬКИЙ, доктор технічних наук,
професор
<https://orcid.org/0000-0001-5889-0307>

І. В. КОВАЛЬ, кандидат технічних наук,
<https://orcid.org/0000-0002-4837-7435>

В. В. ЛУК'ЯНЧУК, доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
<https://orcid.org/0000-0001-5695-7723>

С. В. СЕЛЕЗНЬОВ, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0003-1910-3555>

В. П. ПОПОВ
<https://orcid.org/0000-0002-4352-7158>
(Харківський національний університет Повітря-
них Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків)

МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ДАНИХ БАГАТОКРАТНО ЦЕНЗУРОВАНИХ ВИБІРОК ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ БЕЗПЕРЕВІРОЧНИХ ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ НА ЗБЕРЕЖУВАНІСТЬ

У статті показано важливість і актуальність проблеми формування даних для оцінювання безвідмовності та збережуваності зенітних керованих ракет при експлуатаційних випробуваннях. Розглянута модель процесу формування даних багатократно цензурованих вибірок при регулярно виконуваних вибіркових періодичних контролях технічного стану в процесі проведення робіт з продовження призначених показників зенітних керованих ракет. Ця модель дозволяє формувати вихідні дані за результатами експлуатаційних випробувань (спостережень) безперевірочних зенітних керованих ракет у вигляді багатократно цензурованих вибірок з метою коректного застосування методів статистичної обробки для подальшого оцінювання показників надійності зенітних керованих ракет.

Ключові слова: експлуатаційні випробування, багатократно цензуровані вибірки, залишкова збережуваність, процес формування даних, вироби різних вікових груп.

ВСТУП

На озброєнні Повітряних Сил Збройних Сил України є зенітні керовані ракети (ЗКР) різних типів, які тривалий час знаходяться у режимі зберігання. Більша частина цих зенітних керованих ракет є безперевірочними, тобто для них не передбачений суцільний контроль технічного стану, технічне обслуговування та ремонт в процесі експлуатації. Відповідно до типової моделі експлуатації вони можуть знаходитися в режимах зберігання, очікування до використання та використання за призначенням. Тому, з точки зору надійності такі ЗКР характеризуються безвідмовністю та збережуваністю [1]. Для управління їх експлуатацією передбачені вибіркові періодичні контролю працездатного стану бортового обладнання та інших складових частин і роботи з продовження їх призначених показників (ПП). При цьому роботи з продовження повинні бути завершені до закінчення призначеного терміну служби ЗКР з встановленням нових значень ПП. Для встановлення нових значень ПП ЗКР в цілому та їхніх складових частин необхідно оцінювати і прогнозувати їх показники залишкової збережуваності на період, що продовжується. Оцінювання цих показників надійності можливо за результатами випробувань на збережуваність за типовими планами випробувань, для яких відпрацьовані статистичні моделі [2]. Найбільш відпрацьованими є моделі для оцінювання за планами випробувань [NUN] для повних вибірок та за планами [NUT], [NUT], {NUT} для однократно цензурованих вибірок. Для отримання вихідних даних щодо оцінювання показників залишкової збережуваності ЗКР за відповідними планами необхідно організовувати експлуатаційні випробування (ЕВ). Спеціально організовані ЕВ ЗКР є досить витратними, тому їх кількість при організації робіт з продовження ПП доцільно скорочувати. В експлуатації, як правило, знаходяться ЗКР різних партій, які серійно виготовлені у різні роки за однією відпрацьованою технологією. Роботи з продовження ПП організовуються на лідерних ЗКР різних партій, для яких з встановленою періодичністю проводиться вибірковий контроль технічного стану ЗКР в цілому та їхніх складових частин. В результаті такого контролю формуються реалізації тривалостей зберігання виробів різних партій до відмов або до цензурування. Отримані результати таких ЕВ не відповідають реалізаціям за планами випробувань, які наведені вище. Оцінювання показників збережуваності ЗКР за цими планами призводить до помилок в оцінюванні їх показників, що в свою чергу, може привести до неправильних рішень в управлінні експлуатацією. Тому актуальним є розробка спеціальних моделей та методів обробки такої інформації по вибірках лідерних ЗКР різних партій.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

До дослідників, які займаються експлуатаційною надійністю ЗКР, інформація, як правило, поступає у вигляді цензурованих вибірок. Тому в сучасній науковій літературі існує багато публікацій щодо досліджень, які пов'язані з поданням експериментальних даних у вигляді цензурованих вибірок. Так в [3] розглядаються критерії

розподілу багаторазових прискорених випробувань на довговічність для розробки узагальненої параметричної моделі при даних цензурованої вибірки типу I, наводяться моделі оцінки параметрів методом максимальної правдоподібності. В [4] розглядається оцінювання параметрів функції надійності методом максимальної правдоподібності при спостереженнях, які представляють собою вибірки цензуровані праворуч. Метод, який пропонується, покращує оцінки параметрів розподілу Вейбула. Робота [5] присвячена аналізу надійності систем, які ремонтуються, в умовах наявності інформації про відмови у вигляді цензурованих вибірок типу I і II. В статті розробляється методика і моделі довговічності для систем, що ремонтуються, за вихідними даними при багатократно цензурованих вибірках. Співвідношення для оцінок отримуються методом максимальної правдоподібності. Ці моделі пропонується застосовувати при оцінці показників довговічності виробів, в тому числі, залишкового терміну служби систем. В [6] розглядається проблема оцінювання показників довговічності виробів, за даними цензурованих вибірок типу I і II. Розробляється модель оцінки надійності з урахуванням невизначеності, яка обумовлена цензуруванням. Запропонований метод дозволяє отримати більш точні оцінки середньої тривалості зберігання до відмови при цензурованих даних у порівнянні з відомими методами. В [7–11] для оцінювання показників збережуваності використовують плани випробувань $[NUT]$, $[NUR]$ для однократно цензурованих вибірок, при цьому тривалості зберігання виробів до відмови передбачаються відомими. В [12] досліджується модель гібридної цензури типу I з вибірками для конкретної системи з послідовною структурою надійності, в [13] розробляються процедури перевірки гіпотез про відповідність якості продукції потрібному рівню для прогресивної цензурованої вибірки типу I. Ці моделі [12, 13] можливо застосовувати тільки для однократно цензурованих вибірок виробів з безперервним контролем технічного стану.

В розглянутих роботах [3–13] моделі формування даних багатократно цензурованих вибірок (БЦВ) не розглядаються, проте припускається, що цензуровані вибірки є сформованими. Розробка моделей і методів оцінювання показників надійності здійснюється, як правило, для однократно цензурованих вибірок, в припущенні наявності інформації щодо тривалості наробітку до відмови кожного виробу, а також в припущенні того, що працездатні вироби не знімаються з випробувань.

Метою статті є розробка моделі формування даних багатократно цензурованих вибірок за результатами експлуатаційних випробувань безперевірочних ЗКР на збережуваність для подальшого оцінювання їх показників збережуваності.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В процесі проведення робіт з продовження ПП ЗКР періодично проводиться контроль технічного стану (КТС) на вибірках виробів різних партій. При цьому інформація про їх технічний стан отримується у вигляді інтервалів спостережень. Високий рівень збережуваності ЗКР не дозволяє за певний період їх експлуатації довести всі ЗКР

до відмови. Тому оцінювання показників збережуваності ЗКР до настання відмов усіх випробовуваних виробів – типова ситуація при керуванні їх надійністю та (або) експлуатацією.

Експлуатаційні випробування ЗКР при зберіганні можливо представити планом випробувань $[[NU(T_1, n_1), (T_2, n_2), \dots, (T_{j-1}, n_{j-1}), T_j]]$, відповідно до якого одночасно випробовують N ЗКР. При цьому ЗКР, які відмовили під час випробувань, не відновлюють і не замінюють. Випробування припиняють по досягненні часу T_j . При досягненні тривалості зберігання T_j з випробувань знімають n_j ЗКР, що не відмовили, якщо кількість працездатних виробів в кінці j -го інтервалу більше n_j . В протилежному випадку випробування припиняють. При проведенні ЕВ (спостережень) на надійність відповідно до цього плану за результатами періодичного контролю технічного стану (КТС) відомо, що до певного моменту тривалості зберігання T_j частина виробів перебуває в працездатному стані, а інша частина – у непрацездатному стані. При цьому реалізації тривалостей зберігання ЗКР є цензурованими вибірками. У загальному випадку вибірковий періодичний КТС для частини ЗКР може бути не руйнуючим, а для іншої частини – руйнуючим, що обумовлене їх пусками (контрольно-льотними випробуваннями, вогневыми стендовими випробуваннями тощо). За цими та іншими причинами для j -го періоду КТС $[T_{j-1}, T_j]$ виділяють ЗКР, що відмовили (у кількості r_j) та зняті з випробувань у працездатному стані у кількості n_j в кінці j -го інтервалу. Дані таких вибірок характеризуються більшим ступенем невизначеності інформації, ніж при повній вибірці, або при цензурованих вибірках при планах випробувань $[NUT]$, $[NUR]$, $\{NUT\}$, $[NU(T_1, n_1), (T_2, n_2), \dots, (T_{j-1}, n_{j-1}), T_j]$.

Нижче розглянуто процес формування даних БЦВ за результатами ЕВ ЗКР на збережуваність і їх структуру (рис. 1). У якості механізму генерації тривалостей зберігання виробів до відмови розглядається класичний для завдань прикладної статистики механізм, що припускає наявність вектора N випадкових величин $X_1, X_2, \dots, X_N$ (досліджуваних змінних) з функцією розподілу $F(x)$ (блок 2). Дані, що генеруються, є незалежними реалізаціями $x_1, x_2, \dots, x_n$. Іншою складовою моделі формування даних цензурованих вибірок є модель генерації цензур (T_j, n_j) (блок 1) та модель взаємодії цензур $(T_j, n_j$ і даних $x_1, x_2, \dots, x_n$ (блок 3).

Сукупність цих трьох складових визначає специфіку процесу формування даних ЕВ ЗКР за планом $[[NU(T_j, n_j), T_j]]$ (рис. 1). Модель формування цензур (блок 1) детермінована і містить сплановані відповідно до періоду T_k моменти проведення КТС T_j , а також зняті з ЕВ у кількості n_j працездатні ЗКР. У результаті впливу цензур (T_j, n_j) на дані x_i відповідно до моделі взаємодії (блок 3) формується результуючий процес у вигляді даних БЦВ (блок 4, рис. 1). Дані БЦВ є умовними і неповними реалізаціями. Для наочності на рис. 2 наведені схема ЕВ вибірки ЗКР (рис. 2,а), діаграма реалізацій (рис. 2,б) та ранжирувана діаграма реалізацій (рис. 2,в) при плані випробувань $[[13U(T, 1), j = \overline{1, J}, T_j]]$.

Значення умовних реалізацій ($\rightarrow$) (рис. 2,б) визначаються тривалостями безвідмовного зберігання ЗКР до

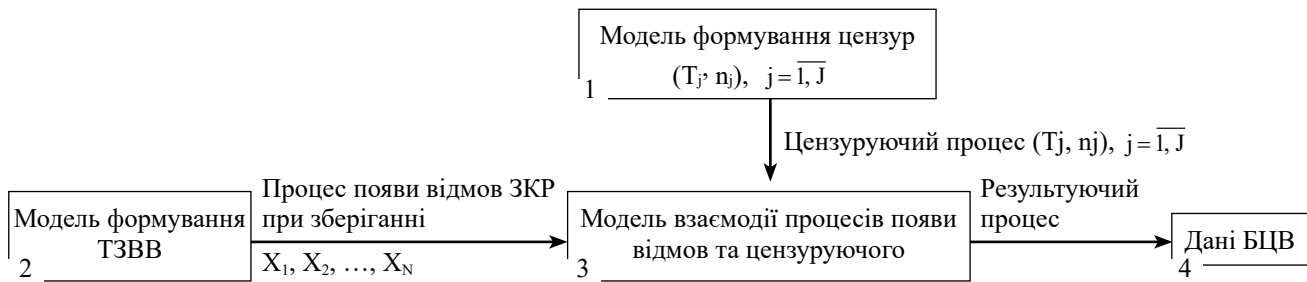


Рис. 1. Модель формування даних багатократно цензурованих вибірок ЗКР при плані експлуатаційних випробувань $[[NU(T_j, n_j), T_j]]$

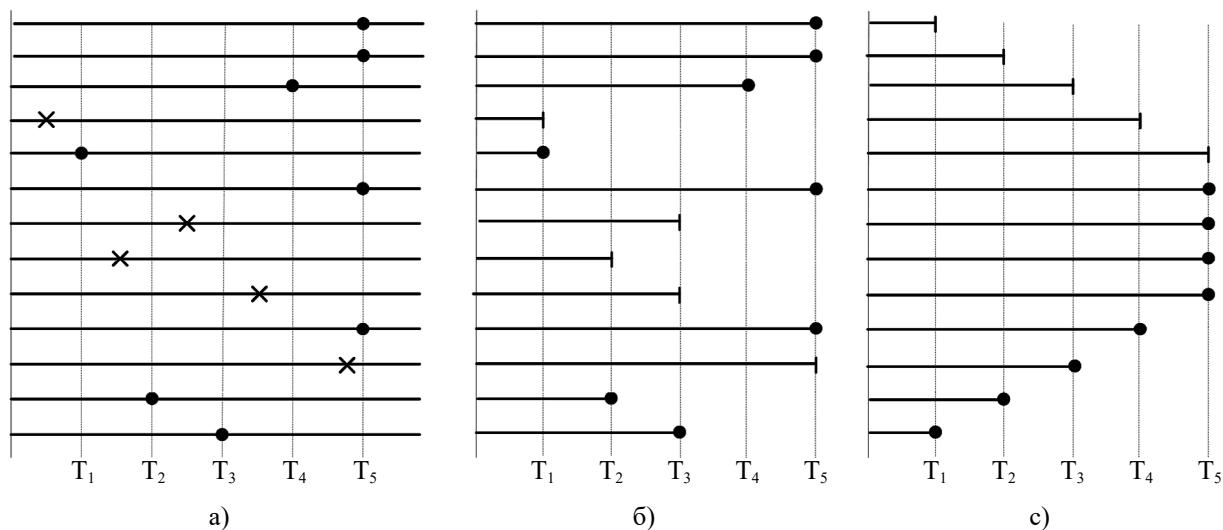


Рис. 2. Графічне подання даних БЦВ вибірки з 13 ЗКР при плані випробувань $[[13U(T_j, 1), j = \overline{1, J}, T_5]]$: а) схема процесу випробувань, б) діаграма реалізацій, в) ранжирувана діаграма реалізацій

моменту КТС, при якому виявлені їхні відмови. Значення неповних реалізацій (—●) визначаються тривалостями безвідмовного зберігання кожної з випробовуваних ЗКР до моменту завершення останнього КТС. При цьому дані БЦВ виходять згрупованими по інтервалах КТС $[T_{j-1}, T_j]$, $j = 1, 2, \dots, 5$.

Ранжирувана діаграма реалізацій (рис. 2, в) є результатом процесом моделі формування даних БЦВ ЗКР при плані випробувань $[[13U(T_j, 1), j = \overline{1, J}, T_5]]$. Діаграма реалізацій та ранжирувана діаграма, як графічний аналог варіаційного ряду, є найпростішими формами подання експериментальних даних. У класифікації [9, 10, 14] ці дані відносяться до прогресивної цензурованої вибірки типу I.

Для оцінювання показників збереженості ЗКР згідно програми робіт з продовження ПП, формуються вибірки ЗКР з різних партій (далі – ЗКР різних вікових груп), упорядковані за календарною тривалістю зберігання при експлуатації, починаючи з моменту введення в експлуатацію (рис. 3, а).

На рис. 3 введені наступні позначення:

- $T_{0\ell}$ – момент введення в експлуатацію ЗКР ℓ -ї вікової групи;
- $T_{\ell j}$ – момент j -го КТС ЗКР ℓ -ї вікової групи, $j = \overline{1, J}$;
- $[T_{j-1}, T_j]$ – j -й часовий інтервал спостереження (зберігання) вибірки виробів ℓ -ї вікової групи, $j = \overline{1, J}$;

– J – кількість вікових груп ЗКР;

– $T_{\ell j} - T_{\ell j-1} = T_k$ – період КТС виробів вибірки;

– $N_{\ell j}$ – число працездатних ЗКР ℓ -ї вікової групи на момент початку j -го часового інтервалу або число ЗКР ℓ -ї вікової групи, спостережуваних (випробовуваних) в j -му часовому інтервалі.

Приведені до єдиного моменту початку зберігання T_0 вибірки ЗКР різних вікових груп (рис. 3, б) утворюють J часових інтервалів спостережень $[T_{j-1}, T_j]$ з кількістю N_j ЗКР в j -му інтервалі.

Результати ЕВ вибірок ЗКР L вікових груп протягом J часових інтервалів при $J > L$ (рис. 3, б) можна представити двома прямокутними матрицями $||r_{\ell j}||$ і $||n_{\ell j}||$ розмірності $L \times J$ (рис. 4).

Елемент $r_{\ell j}$ матриці $||r_{\ell j}||$ характеризує число виробів ℓ -ї вікової групи, що відмовили в j -му часовому інтервалі $[T_{j-1}, T_j]$. Елемент $n_{\ell j}$ матриці $||n_{\ell j}||$ характеризує число цензурованих праворуч ЗКР ℓ -ї вікової групи на момент j -го КТС T_j .

Елементи ℓ -го рядка $r_{\ell j}$, матриці $||r_{\ell j}||$ є часовим рядом числа ЗКР, що відмовили, ℓ -ї вікової групи за $J - L + \ell$ періодів КТС. Елементи j -го стовпця $r_{\ell j}$, $\ell = \overline{1, L}$ цієї матриці характеризують розподіл числа ЗКР, що відмовили, по L віковим групах в j -му часовому інтервалі.

Елементи $r_{1L}, r_{2L+1}, \dots, r_{LL}$ матриці $||r_{\ell j}||$ характеризують число виробів, що відмовили, по кожній віковій

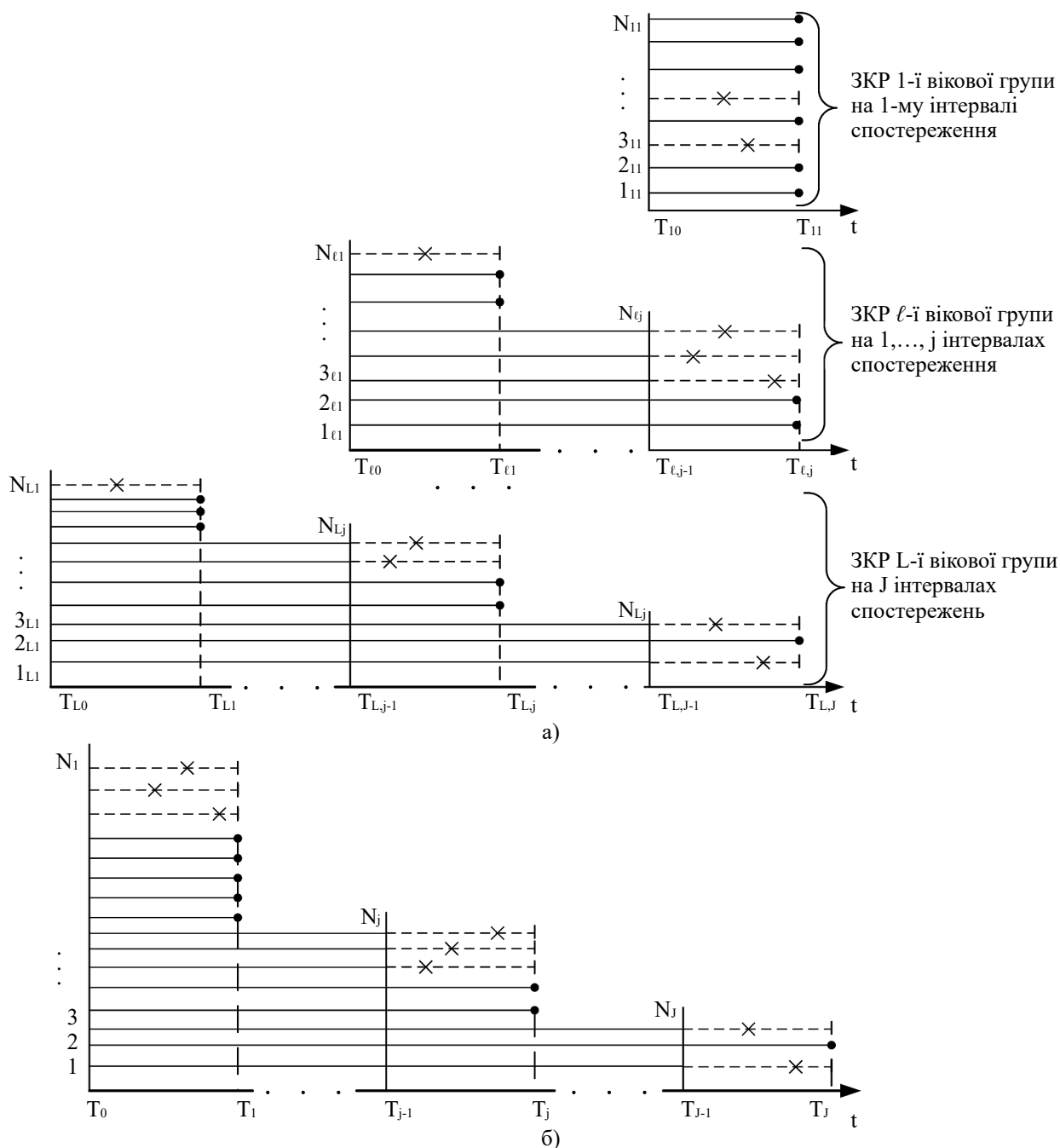


Рис. 3. Схема процесу експлуатаційних випробувань (спостережень) вибірок ЗКР L вікових груп, при стратегії випробувань $[[NU(T_j, n_j), T_j]]$: а) вихідна схема ЕВ вибірок ЗКР L вікових груп на j -х інтервалах спостережень, $j = \overline{1, J}$; б) приведена до єдиного моменту T_0 початку спостережень схема ЕВ вибірок ЗКР L вікових груп, згрупованих по J інтервалах спостережень

групі як результати поточного (останнього) КТС виробів L вікових груп. Відповідні елементи, розміщені ліворуч вище зазначених, характеризують число виробів, що відмовили за кожний період КТС, що передуює поточному, а незаповнені елементи, розміщені праворуч, – відповідні результати контролю ЗКР за наступні періоди.

Елементи ℓ -го рядка $n_{\ell j}$, $j = \overline{1, L + \ell}$ матриці $\|n_{\ell j}\|$ є часовим рядом числа цензурованих праворуч ЗКР ℓ -ї вікової групи за $J - L + \ell$ періодів КТС. Елементи j -го стовпця $n_{\ell j}$, $\ell = \overline{1, L}$ цієї матриці характеризують розподіл числа цензурованих праворуч виробів за L віковими групами на момент j -го КТС.

Елементи $n_{1,L}, n_{2,L+1}, \dots, n_{L,J}$ матриці $\|n_{\ell j}\|$ характеризують число ЗКР, що не відмовили, яке встановлене за результатами поточного (останнього) КТС виробів L вікових груп. Відповідні елементи, розміщені ліворуч вищезазначених, характеризують число ЗКР, що не відмовили, за кожен період КТС, який передуює поточному, а незаповнені елементи, які розміщені праворуч, – відповідні результати КТС ЗКР за наступні періоди.

При $J = L$ (число інтервалів групування дорівнює числу вікових груп) ці матриці перетворюються до нижніх трикутних, а елементи їх головних діагоналей ($r_{\ell j}$ і $n_{\ell j}$ при $\ell = j$) характеризують результати поточного КТС (останнього дослідження) виробів L вікових груп.

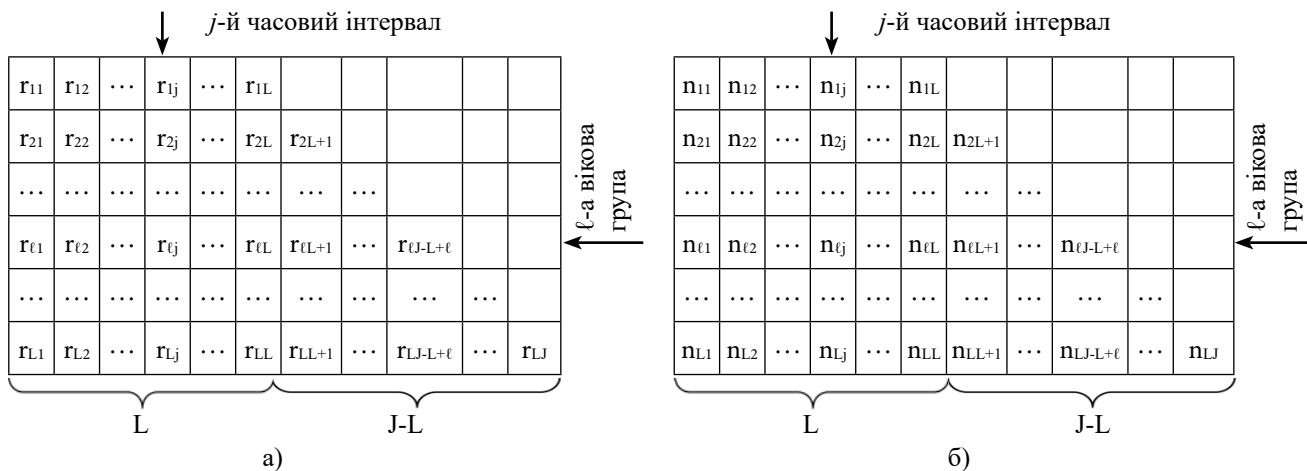


Рис. 4. Матриці результатів ЕВ вибірок ЗКР L вікових груп протягом J часових інтервалів при стратегії випробувань $[[NU(T_j, n_j), T_j]]$: а) матриця $\|r_{\ell j}\|$, що характеризує кількість ЗКР, які відмовили; б) матриця $\|n_{\ell j}\|$, яка характеризує кількість цензурованих праворуч ЗКР

Таке подання результатів ЕВ (спостережень) (рис. 3, 4) дозволяє записати наступні співвідношення між визначеними вище величинами. Так, число виробів $N_{\ell j}$ ℓ -ї вікової групи, які спостерігаються в j -му часовому інтервалі, знаходимо за відомими елементами $\|r_{\ell j}\|$ та $\|n_{\ell j}\|$ вихідних матриць (рис.4):

$$N_{\ell j} = r_{\ell j} + n_{\ell j}. \quad (1)$$

Тоді число виробів N_j , які спостерігаються в j -му часовому інтервалі, визначимо за відомими $N_{\ell j}$

$$N_j = \sum_{\ell=1}^L N_{\ell j}, \quad j = \overline{1, J}. \quad (2)$$

Кількість виробів L вікових груп, що відмовили, в j -му часовому інтервалі (або число умовних реалізацій за j -й часовий інтервал) визначимо за відомими елементами $r_{\ell j}$

$$r_j = \sum_{\ell=1}^L r_{\ell j}. \quad (3)$$

Кількість цензурованих праворуч ЗКР L вікових груп на момент T_j завершення j -го КТС (або число неповних реалізацій за j -й часовий інтервал) визначимо за відомими елементами $n_{\ell j}$

$$n_j = \sum_{\ell=1}^L n_{\ell j}. \quad (4)$$

По відомих величинах r_{j-1} і n_{j-1} можна визначити кількість виробів, спостережуваних в j -му часовому інтервалі

$$N_j = N_{j-1} - (r_{j-1} + n_{j-1}) \quad (5)$$

або

$$N_j = N - \sum_{i=0}^{j-1} (r_i + n_i). \quad (6)$$

Розглянуті вище схеми (рис. 3, 4) і співвідношення (1)–(6) представляють собою модель процесу формування БЦВ при регулярно виконуваних періодичних КТС ЗКР і можуть використовуватися далі при розробці моделей оцінювання показників збережуваності ЗКР.

При цьому дослідник за первинною інформацією щодо надійності по кожній ЗКР, які подані у картках «універсальних носіїв статистичної інформації» у відповідності з розробленою моделлю формує матрицю результатів ЕВ (спостережень) за вибірками ЗКР спостережуваних партій. Далі ці дані з використанням співвідношень (1)–(6) використовуються у відповідних моделях оцінювання показників збережуваності.

Міра адекватності розробленої моделі та діюча система збирання вихідної інформації про надійність безперевірочних ЗКР є значимим фактором, що визначає ефективність та достовірність використовуваних потім методів статистичної обробки.

ВИСНОВКИ

Дослідникам, які займаються аналізом експлуатаційної надійності ЗКР, інформація, як правило, поступає у вигляді БЦВ. Це приводить до необхідності використання спеціальних методів її обробки. В роботі розглянутий один з аспектів проблеми оцінювання показників збережуваності ЗКР – дослідження моделей формування даних БЦВ за результатами експлуатаційних випробувань вибірок безперевірочних ЗКР лідерних партій на збережуваність.

Модель формування даних БЦВ представляє собою схему процесу ЕВ (спостережень) вибірок ЗКР різних вікових груп, результати ЕВ цих вибірок, які представлені у матричному вигляді, а також співвідношення (1)–(6), що отримані у відповідності до розроблених схем.

Розроблена модель дозволяє обробляти вихідні дані за результатами ЕВ (спостережень) безперевірочних ЗКР у вигляді багаторазово цензурованих вибірок з метою коректного застосування методів статистичної обробки та подальшого оцінювання показників надійності ЗКР.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ланецький Б.М., Коваль І.В., Попов В.П. Метод оцінювання показників збережуваності бортового обладнання зенітних керованих ракет для вирішення завдань продовження їх призначених показників. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків: ХУПС імені Івана Кожедуба. 2019. № 2(35). С. 119–125. <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.35.15>.
2. Ланецький Б.М., Коваль І.В., Попов В.П., Гриневич В.І. Метод оцінювання показників збережуваності бортового обладнання зенітних керованих ракет при періодичному контролі їх працездатності. озброєння та військова техніка. Київ: ЦНДІ ОБТ ЗСУ. 2020. № 2(26). С. 59–64. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2\(26\).59-64](https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2(26).59-64)
3. A.M. Abd El-Raheem (2021). Optimal design of multiple constant-stress accelerated life testing for the extension of the exponential distribution under type-II censoring. J. of Computational and Applied Mathematics. Vol. 382. 113094. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2020.113094>.
4. James, K. Starling, Christina Mastrangelo & Youngjun Choe (2021). Improving Weibull distribution estimation for generalized Type I censored data using modified SMOTE. Reliability Engineering & System Safety. Vol. 211. 107505. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107505>.
5. Garima Sharma & Rajiv Nandan Rai (2021). Failure modes based censored data analysis for repairable systems and its industrial perspective. Computers & Industrial Engineering. Vol. 158. 107439. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021>.
6. Xiao-YangLi, Wen-Bin Chen, Fang-Rong Li & Rui Kanga (2021). Reliability evaluation with limited and censored time-to-failure data based on uncertainty distributions. Applied Mathematical Modelling. Vol. 94. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2021.01.029>.
7. Захаров О.Г. Оценка показателей сохраняемости цифровых устройств релейной защиты. СТА. № 2. 2013. С. 22. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.energoboard.ru/articles/2343-otsenka-pokazateley-sohranyaemosti-tsifrovih-ustroystv-releynoy-zashchiti.html>.
8. Mikhailov, V.S. (2019). Estimation of the gamma-percentile life for the binomial test plan. Dependability. Vol. 19. No 2. P. 18. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2019-19-2-18-21>.
9. Судаков Р.С. Тескин О.І. Надежность и эффективность в технике. Справочник в десяти томах. Т. 6: Экспериментальная обработка и испытания. М.: Машиностроение. 1989. 376 с.
10. Скрипник В.М., Назин А.Е., Приходько Ю.Г., Благовещенский Ю.Н. Анализ надежности технических систем по цензурированным выборкам. М.: Радио и связь. 1988. 184 с.
11. Аронов И.З., Бурдасов Е.И. Оценка надежности по результатам сокращенных испытаний. М.: Изд-во стандартов. 1987. 184 с.
12. Gorny, J. & Cramer, E. (2020). Tyre-I hybrid censoring of multiple samples. J. of Computational and Applied Mathematics. Vol. 366. Pp.87–98.
13. Shu-Fei Wu & Ya-Ting Hsieh. (2019). The assessment of the lifetime performance index of products with Gompertz distribution based on the progressive type I interval censored sample. J. of Computational and Applied Mathematics. Vol. 351. Pp. 66–76.
14. Беляев Ю.К. Надежность технических систем: Справочник. Под ред. Ушакова И.А. М.: Радио и связь. 1985. 608 с.

REFERENCES

1. Lanetskyi, B.M., Koval, I.V. & Popov, V.P. (2019), "Metod otsiniuvannia pokaznykiv zberezhuvanosti bortovoho obladnannia zenitnykh kerovanykh raket dlia vyrishennia zavdan prodovzhennia yikh pryznachenykh pokaznykiv" [Method for estimating the storage measures of the airborne equipment of the surface-to-air guided missiles for solving the problems of extending their assigned measures], Science and technology of the Air Forces of Ukraine. No. 2 (35). Pp. 119–125. <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.35.15>.
2. Lanetskyi, B.M., Koval, I.V., Popov, V.P. & Grinevich, V.I. (2020), "Metod otsiniuvannia pokaznykiv zberezhuvanosti bortovoho obladnannia zenitnykh kerovanykh raket pry periodychnomu kontroli yikh pratsездatnosti" [Method for estimating the storage measures of the airborne equipment of the surface-to-air guided missiles at periodic control of their working capacity], Weapons and military equipment. No 2(26). Pp. 59–64. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2\(26\).59-64](https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2(26).59-64).
3. A.M. Abd El-Raheem (2021). Optimal design of multiple constant-stress accelerated life testing for the extension of the exponential distribution under type-II censoring. J. of Computational and Applied Mathematics. Vol. 382. 113094. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2020.113094>.
4. James, K. Starling, Christina Mastrangelo & Youngjun Choe (2021). Improving Weibull distribution estimation for generalized Type I censored data using modified SMOTE. Reliability Engineering & System Safety. Vol. 211. 107505. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107505>.
5. Garima Sharma & Rajiv Nandan Rai (2021). Failure modes based censored data analysis for repairable systems and its industrial perspective. Computers & Industrial Engineering. Vol. 158. 107439. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021>.
6. Xiao-YangLi, Wen-Bin Chen, Fang-Rong Li & Rui Kanga (2021). Reliability evaluation with limited and censored time-to-failure data based on uncertainty distributions. Applied Mathematical Modelling. Vol. 94. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2021.01.029>.
7. Zakharov, O.H. (2013), "Otsenka pokazateley sokhraniyaemosti tsyfrovikh ustroystv releynoi zashchity" [Evaluation of indicators of persistence of digital relay protection devices], STA. No 2. P. 22. Available at: <http://www.energoboard.ru/articles/2343-otsenka-pokazateley-sohranyaemosti-tsifrovih-ustroystv-releynoy-zashchiti.html>.
8. Mikhailov, V.S. (2019). Estimation of the gamma-percentile life for the binomial test plan. Dependability. Vol. 19. No 2. P. 18. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2019-19-2-18-21>.
9. Sudakov, R.S. & Teskin, O.I. (1989), "Nadezhnost i effektivnost v tehnikе. Spravochnik v desiati tomah" T. 6: Eksperimentalnaia otrabotka i ispytaniia [Reliability and efficiency in engineering. A guide in ten volumes. Vol. 6:

- Experimental testing and testing], Mechanical engineering. M. 376 p.
10. Skrypnyk, V.M., Nazyn, A.E., Prykhodko, Yu.H. & Blahoveshchenskyi, Yu.N. (1988), "Analyz nadezhnosti tekhnicheskikh sistem po tsenzurovannym vyborkam" [Analysis of the reliability of technical systems using censored samples], *Radyo y svyaz*, M. 1988. 184 p.
 11. Aronov, I.Z. & Burdasov, Ye.I. (1987), "Otsenka nadezhnosti po rezul'tatam sokrashchennykh ispytaniy" [Evaluation of reliability based on the results of abbreviated tests], *Izd-vo standartov*. M. 1987. 184 p.
 12. Gorny, J. & Cramer, E. (2020). Tyre-I hybrid censoring of multiple samples. *J. of Computational and Applied Mathematics*. Vol. 366. Pp.87–98.
 13. Shu-Fei Wu & Ya-Ting Hsieh. (2019). The assessment of the lifetime performance index of products with Gompertz distribution based on the progressive type I interval censored sample. *J. of Computational and Applied Mathematics*. Vol. 351. Pp. 66–76.
 14. Belyayev, Yu.K. (1985), "Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem: Spravochnik" [Reliability of technical systems: Handbook], *Radio i svyaz*. M. 608 p.

**Lanetskii B., Koval I., Lukianchuk V.,
Seleznov S., Popov V.**

**A MODEL FOR GENERATING
MULTI-CENSORED SAMPLES BY THE RESULTS
OF SERVICE TESTS
OF SURFACE-TO-AIR MISSILES TO BE
STORED WITHOUT RUNNING TESTS AIMED
AT FINDING THEIR REMAINING
SHELF LIFE**

Most of the anti-aircraft guided missiles in service with the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine are non-tested, i.e. they are not subject to continuous technical condition monitoring, maintenance and repair during operation. These anti-aircraft guided missiles can be in the modes of storage, waiting for use and use as intended. From the point of view of reliability, such anti-aircraft guided missiles are characterized by faultlessness and preservation. Evaluation of the reliability indicators of anti-aircraft guided missiles is possible based on the results of survivability tests according to standard test plans for which statistical models have been developed. To obtain initial data for assessing the residual survivability of anti-aircraft guided missiles according to the relevant plans, it is necessary to organize operational tests. The obtained results of such operational tests do not correspond to the implementation of typical test plans, and the assessment of the survivability of anti-aircraft guided missiles according to these plans leads to errors in the assessment of their indicators.

The article considers the model of the process of data formation of multiple censored samples with regular sample periodic inspections of the technical condition of the anti-aircraft guided missiles. This model includes a diagram of the process of operability tests of samples of anti-aircraft guided missiles of different age groups,

results of operability tests on these samples presented in matrix form, as well as the ratios obtained in accordance with the developed schemes. The developed model allows to process the initial data on the results of operability tests of anti-aircraft guided missiles designed to be stored without the necessity of tests in the form of repeatedly censored samples in order to correctly apply the methods of statistical processing and further assess the anti-aircraft guided missiles reliability.

Keywords: operational tests, multiple censored samples, residual faultlessness, data formation process, products of different age groups.

Відомості про авторів:

Ланецький Борис Миколайович

доктор технічних наук, професор
провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5889-0307>

Коваль Ігор Вікторович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
старший науковий співробітник Харківського науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4837-7435>

Лук'янчук Вадим Володимирович

доктор технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5695-7723>

Селезньов Сергій Володимирович

кандидат технічних наук
начальник науково-дослідної лабораторії
науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1910-3555>

Попов Валерій Петрович

науковий співробітник
науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4352-7158>

Information about the authors:**Boris Lanetskii**

Doctor of technical sciences, Professor
Lead Researcher of scientific research department of scientific center of Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5889-0307>

Igor Koval

Candidate of Technical Sciences, Senior Research
Senior Research Associate of scientific research department of scientific center of Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4837-7435>

Vadim Lukianchuk

Doctor of Technical Sciences, Senior Research
Chief of scientific research department of scientific center of Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5695-7723>

Serhii Seleznev

Candidate of Technical Sciences
Chief of scientific research laboratory of scientific research department of scientific center of Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1910-3555>

Valeriy Popov

Research Associate of scientific research department of scientific center of Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4352-7158>

УДК 623.437.4; 623.438.2; 629.346

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.4\(36\).106-111](https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.4(36).106-111)

М. О. ШИШАНОВ, доктор технічних наук,
професор
<https://orcid.org/0000-0002-7121-3666>

А. О. ВЕРЕТНОВ, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0003-0160-7325>

О. Л. ЧЕЧЕНКОВА, старший науковий
співробітник
<https://orcid.org/0000-0001-6637-5346>
(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ТРЕНАЖЕРІ В ДЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ПІДГОТОВКИ ОСОБОВОГО СКЛАДУ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

У статті наведені методичні основи проведення системного аналізу тренажерів індивідуальної підготовки. Запропонована методика проведення аналізу технічного рівня, що ґрунтується на використанні системного аналізу. Показано, що аналіз технічного рівня необхідно проводити в два етапи: на першому – використання функціонально-морфологічного аналізу з наданням переваги функціонального принципу; на другому – визначення технічного рівня за методом прогресуючого еталону. Запропоновані методичні основи аналізу технічного рівня надають можливість більш достовірно проаналізувати і надати оцінку технічному рівню тренажерів індивідуальної підготовки та можуть бути використані при обґрунтуванні технічних вимог при створенні перспективних тренажерів індивідуальної підготовки для потреб ЗС України.

Ключові слова: аналіз, коефіцієнт технічної досконалості, метод прогресуючого еталону, технічний рівень, тренажер індивідуальної підготовки, тренажерний комплекс, функціонально-морфологічний аналіз.

ВСТУП

На теперішній час для потреб Збройних Сил України (ЗС України) дуже важливими та актуальними є наявність і використання тренажерних комплексів для якісної підготовки особового складу, органів управління, частин і підрозділів ЗС України та економії матеріальних, фінансових і трудових ресурсів, що витрачаються на експлуатацію озброєння та військової техніки (ОВТ).

Відомо, що «аналіз» – це метод наукового дослідження, що полягає в розчленуванні предмету або явища, виділення окремих його частин, ознак, властивостей з метою глибокого ознайомлення і ретельного пізнання та вивчення [1, 2].

На сьогодні в науково-технічній літературі [5–7] існує багато методів проведення аналізу складних технічних систем (СТС), до яких і відносяться тренажери індивідуальної підготовки (тренажерні комплекси).

Проте проведені дослідження [5–7, 13] показують, що існуючі методи аналізу СТС характеризуються складністю в проведенні, вимагають багато часу й не забезпечують в повному обсязі надання достовірної оцінки СТС, що, у свою чергу, не забезпечує визначення технічного рівня і формування потрібних вимог до ефективності її функціонування на сучасному етапі та на перспективу.

Мета статті – надання методичних основ системного аналізу технічного рівня з використанням методів алгебри логіки.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Виникнення проблем пов'язано з недостатнім збігом результату діяльності системи з тією метою, що поставлена перед нею. Це може бути наслідком великої кількості причин, що зводяться, як правило, до складності і мінливості умов функціонування системи. Природно, що йдеться про системи, які в принципі задовольняють пред'явленим до них вимогам. Вимога абсолютного збігу результату діяльності системи з метою не є обґрунтованою для сучасних складних систем. Проблема мінімізації розбіжності досягнутого результату й мети в умовах ресурсних обмежень завжди існує й є головним стимулом удосконалення системи. Задача системного дослідження полягає в забезпеченні швидкого й ефективного розв'язання цієї проблеми. Системні дослідження виконуються, як правило, за допомогою методів, запозичених з низки прикладних дисциплін: математичної логіки, кібернетики, теорії ігор тощо. Комплексне використання цих методів у суворій відповідності до викладених принципів дає найкращі результати.

Початковим етапом, імпульсом, що спонукає до дослідження, є порівняння дійсного виходу (або очікуваного результату функціонування) з метою (або бажаним виходом) системи. Природно, що таке порівняння необхідно здійснювати за певними критеріями ефективності. У результаті цього етапу виявляється наявність проблеми.

Другий етап є попереднім системним дослідженням, що на основі аналізу процесу функціонування системи, виявлення її структури, а також принципів і методів її діяльності має визначити слабкі ланцюги і більш чітко сформулювати проблему.

Системний підхід полягає в структурному аналізі об'єкта дослідження, тобто в розкритті ієрархічної організаційної структури системи, кількості, номенклатури й складності елементів, їх розподілу по рівнях, характеру та властивостях зв'язку між ними, характеру зовнішніх зв'язків системи, кількості і функцій підпорядкованих елементів.

За результатами вивчення досвіду побудови й застосування тренажерів у провідних країнах світу визначено, що тренажерна система (ТС) ЗС України – це організаційно-технічна система підготовки особового складу, органів управління, частин і підрозділів ЗС України, бойових обслуг пунктів управління й ОВТ ЗС України, що забезпечує формування практичних навичок у застосуванні, експлуатації та згадженості дій при управлінні діями військ і бойовому застосуванні зразків ОВТ [9–12].

Структурна схема ТС міжвидового застосування ЗС України така.

Першим рівнем системи є тренажери індивідуальної підготовки (ТПІ) номерів обслуги (членів екіпажу), фахівців видів (родів) військ ЗС України. Сукупність тренажерних комплексів (ТК) індивідуальної підготовки утворюють тренажерний комплекс групової підготовки спільного виконання вправ (нормативів) курсів (стандартів) бойової підготовки у складі обслуги (екіпажу), підрозділу фахівців видів (родів) військ ЗС України.

Наступний рівень ТС міжвидового застосування утворюють тренажерні комплекси колективної підготовки, призначені для навчання і тренування підрозділів частини роду військ. Тренажерні комплекси колективної підготовки поєднуються в тренувально-моделюючі комплекси.

Сукупність тренувально-моделюючих комплексів утворюють ТС виду ЗС України, призначену для фахівців видів військ ЗС України, номерів повних бойових обслуг командних пунктів, командних центрів на єдиному оперативно-тактичному фоні і за єдиним замислом і планом. На верхньому рівні ТС видів ЗС України поєднуються в тренажерну систему міжвидового застосування ЗС України.

Однак показаний розподіл ТК не враховує багатьох характеристик, за якими необхідно здійснювати порівняння в залежності від призначення, та не надає повну й достовірну оцінку технічного рівня зазначених комплексів. Для вирішення зазначених проблем виникає задача у проведенні аналізу технічного рівня ТК.

У статті пропонується застосування системного підходу до аналізу технічного рівня ТПІ, який передбачає облік взаємозв'язків і взаємодій елементів системи, за яким об'єкти, що вивчаються, розглядаються не як самостійні системи, а як ті, що складаються з підсистем, які, у свою чергу, складаються з окремих складових частин [3–5, 13]. Сутність цього підходу полягає в проведенні послідовного аналізу технічного рівня ТС в два етапи:

– на першому етапі – проведення функціонально-морфологічного аналізу для визначення основних властивостей тренажерів (тренажерних комплексів), що впливають на ефективність виконання їх завданих функцій, отримання вихідних даних для оцінки й визначення технічного рівня;

– на другому етапі – проведення порівняння існуючих на озброєнні ЗС України тренажерів (тренажерних комплексів) зі світовими аналогами за їх основними властивостями й визначення їх технічного рівня за методом прогресуючого еталона.

Сутність аналізу ТПІ за функціонально-морфологічним принципом полягає в тому, що початковим моментом аналізу є визначення основних (комплексних) властивостей ТПІ [3, 4]. Далі ці властивості розбиваються на більш дрібні, часткові властивості.

В основу аналізу на першому етапі був застосований функціонально-морфологічний принцип з наданням пріоритету функціональному принципу. Пріоритет функціонального принципу полягає в тому, що початковим пунктом аналізу є не конструкція ТПІ, а його функціональний опис. Згідно з [3] функціональний опис системи є описом процесів її застосування за призначенням, в якому відображена мета функціонування і засоби їх досягнення.

Коли функціональний аналіз закінчується, приступають до виділення складових частин, що забезпечують кожну приватну властивість, продовжуючи процес аналізу вже за морфологічним принципом, аж до простих деталей.

Сутність морфологічного аналізу за цим принципом полягає в тому, що ТПІ розподіляються на укрупнені складові частини. Далі ці складові частини діляться на менш крупні складові частини, а ті, у свою чергу, на ще дрібніші складові частини і так до деталей включно. Цей процес триває до виділення окремих деталей. За цим принципом побудована більшість відомчих документів: технічні описи, настанови щодо експлуатування, керівництва з ремонту, відомості специфікацій тощо.

Таким чином, спочатку проводиться аналіз за функціональним, а потім за морфологічним принципами.

Аналіз ТПІ за функціонально-морфологічним принципом доцільно також проводити при оцінках і дослідженнях ефективності ТПІ за результатами порівняльної оцінки, оскільки класифікація змін технічного стану на відмови та пошкодження відповідно до галузевого стандарту проводиться, виходячи з їх впливу на боездатність, під якою розуміється здатність виконувати задані функції [3, 7]. Ураховуючи, що в процесі класифікації змін технічного стану доводиться встановлювати можливість виконання зразком заданих функцій, необхідно застосування схем надійності конструкцій ТПІ.

На другому етапі – проведення порівняння ТПІ за їх основними властивостями з визначенням їх технічного рівня за методом прогресуючого еталона.

Оцінка ТПІ (коефіцієнта технічної досконалості) полягає в оцінці його рівня розвитку і здійснюється стосовно їх класифікації. Під час проведення аналізу головним чином розглядають найважливіші властивості (технічні характеристики) ТПІ, що визначають основний обрис даного виду (типу) ТПІ і найбільшим чином впливають на характер виконання завдань з використання і виконання потрібних функцій.

Порівняльна оцінка ТПІ та обґрунтування шляхів їх створення призначена для порівняння варіантів типажу ТПІ, що найбільшою мірою характеризують тип ТПІ, та, у свою чергу, дозволяє:

– визначити комплексні показники якості, що най-більшою мірою враховують усі існуючі властивості ТПІ;
 – оцінити відповідність різнорідних за типом ТПІ технічним вимогам, кількісним вимогам технічних умов і державних стандартів;

– проводити порівняльну оцінку вітчизняних і іноземних ТПІ.

Структурно-логічна схема порівняльної оцінки ТПІ зображена на рис. 1.

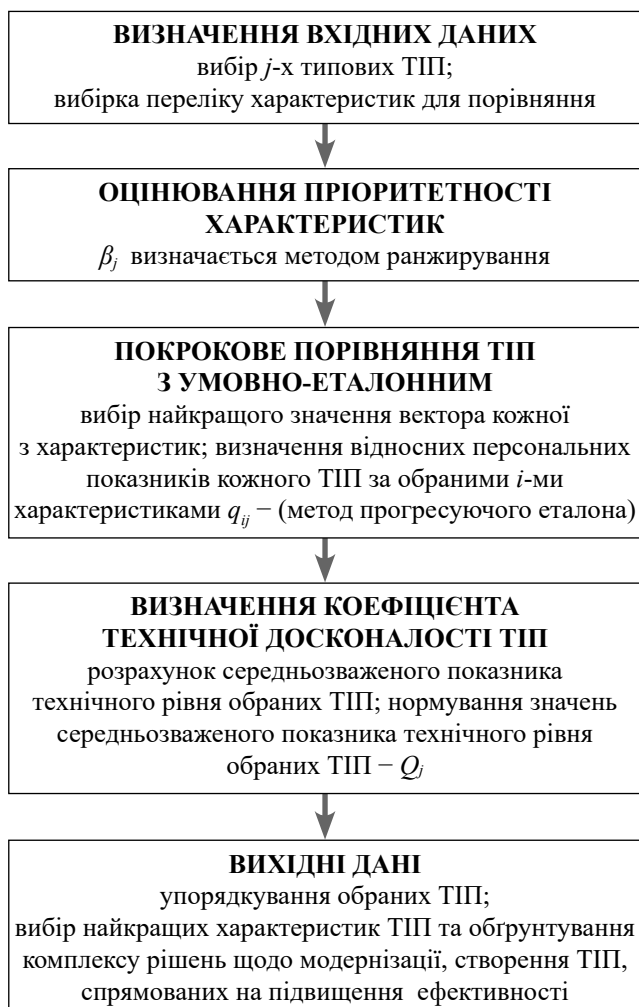


Рис. 1. Структурно-логічна схема порівняльної оцінки ТПІ

Вихідними даними для проведення порівняння ТПІ є визначені основні і найважливіші властивості ТПІ, що визначені на першому етапі системного аналізу.

Для однотипних ТПІ встановлюється певний перелік характеристик, що відображають їх властивості, та узагальнюються чисельні значення $\{A_{ij}\}$ – характеристики для кожного ТПІ.

Сукупність властивостей ТПІ, що визначають їх якість, обумовлює їх придатність задовольняти певні потреби військ. Кожна з властивостей характеризується відповідними технічними характеристиками й показниками досконалості, що ґрунтуються на методі прогресуючого еталона [13].

Оцінку ступеня відповідності ТПІ (тренажерних комплексів) проводять шляхом порівняння з еталоном, на який

відсутній державний стандарт, загальні технічні вимоги чи кількісні показники. Визначення відповідності вимогам полягає в порівнянні комплексного показника якості ТПІ, що оцінюється, з комплексним базовим показником.

Оцінюється пріоритетність j -ї характеристики (параметра). Для визначення пріоритетності характеристик (β_j) застосовується метод ранжирування, сутність якого більш повно розглянуто в [3]. Під ранжируванням розуміється процедура встановлення значущості характеристик ТПІ на підставі їх упорядкування.

Для оцінки технічного рівня (ступеня технічної досконалості) ТПІ прийнятий чисельний параметр – коефіцієнт технічної досконалості (КТД) досліджуваного ТПІ – для оцінки ступеня технічної досконалості одинарних ТПІ шляхом порівняння їх технічних характеристик з еталонним зразком.

Розрахунок КТД проводиться за формулою

$$K_{ТДЗ} = \sum_{i=1}^{i=\kappa} K_{ТДi} \times P_{icp} = \sum_{i=1}^{i=\kappa} \left(\sum_{j=1}^{j=n} K_{ТДji} \times M_{jicp} \right) \times P_{icp}, \quad (1)$$

де $K_{ТДi} = \frac{A_{jiДЗ}}{A_{jiЕЗ}}$ – КТД досліджуваного ТПІ по j -й технічній характеристиці i -ї групи декомпозиції;

$A_{jiДЗ}$ – числове значення j -ї технічної характеристики i -ї групи декомпозиції досліджуваного ТПІ;

$A_{jiЕЗ}$ – числове значення j -ї технічної характеристики i -ї групи декомпозиції еталонного ТПІ;

M_{jicp} – узагальнене значення вагового коефіцієнта j -ї технічної характеристики в i -й групі декомпозиції;

P_{icp} – узагальнене значення вагового коефіцієнта i -ї групи декомпозиції;

κ – кількість груп декомпозиції технічних характеристик;

n – кількість технічних характеристик у i -й групі декомпозиції.

Для вибірки варіантів необхідно обрати ТПІ, який за функціональними ознаками розділений на однотипні ТПІ (подальші процедури проводяться тільки між однотипними ТПІ).

Якщо характеристики за важливістю вважаються рівними між собою, то показник пріоритетності кожної з них визначається співвідношенням типу $1/J$, де J – загальна чисельність характеристик оцінюваних ТПІ.

Для кожної характеристики встановлюється критеріальне правило, за яким зі всієї вибірки покроково обирається найкращий (умовно-еталонний) ТПІ за кожною із характеристик:

$$A_{ej} = \max A_{ij}, \quad i = \overline{1 \dots N} \quad (2)$$

або

$$A_{ej} = \min A_{ij}, \quad i = \overline{1 \dots N}, \quad (3)$$

де A_{ij} – абсолютне значення j -ї властивості у i -го ТПІ, що порівнюється;

A_{ej} – абсолютне значення цієї властивості в еталоні (базового ТПІ).

Визначаються відносні персональні показники кожного ТПІ для кожної характеристики, які для властивостей «більше – краще»

$$q_{ij} = \frac{A_{ij} - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}}, \quad (4)$$

а для властивостей «більше – гірше»

$$q_{ij} = \frac{A_{\max} - A_{ij}}{A_{\max} - A_{\min}}. \quad (5)$$

Для властивостей, що виражаються у вигляді «є» чи «немає»

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, & A_{ij} - \text{"є"}, \\ 0, & A_{ij} - \text{"немає"} \end{cases} \quad (6)$$

Для будь-яких властивостей $q_{ij}=1$, якщо $A_{ij}=A_{2j}=... A_{nj}=A_{ej} \neq 0$.

Розраховується середньозважений комплексний показник якості кожного ТПП. Комплексний показник i -го виробу Q_i визначається як

$$Q_i = \sum_{j=1}^J \beta_j q_{ij}, \quad (7)$$

де β_j – коефіцієнт вагомості j -ї властивості (параметра, технічної характеристики); q_{ij} – відносний одиничний показник j -ї властивості i -го ТПП.

Нормуються одержані значення комплексного показника якості кожного ТПП по відношенню до найбільшого значення

$$K_i = \frac{Q_i}{\max Q_i}. \quad (8)$$

Кінцевим результатом проведення такого аналізу є:

- встановлення рівня технічної досконалості ТПП;
- відпрацювання висновку про пріоритетність оцінюваних варіантів;

- визначення переваг і вимог до характеристик, що потребують покращення для існуючих на озброєнні ТПП (тренажерних комплексів).

Як видно з вищевикладеного матеріалу, розв'язання задачі вибору ефективних зразків ТПП зводяться до вибору одної або декількох альтернатив із числа досліджуваних.

У цьому випадку виникає можливість зробити висновок про необхідність чітко визначити мету, задачі і критерії, за яким здійснюватиметься оцінка на основі методів алгебри логіки.

Отже, застосування запропонованого системного підходу до аналізу технічного рівня ТПП дозволяє обґрунтувати й завдати відповідні вимоги при оцінці існуючих і вимоги при створенні перспективних тренажерів індивідуальної підготовки та сформулювати необхідні рекомендації з підвищення їх технічного рівня.

ВИСНОВОК

Таким чином, запропоновані методичні основи, що ґрунтуються на системному підході до аналізу технічного рівня тренажерів індивідуальної підготовки, надають можливість достовірніше проаналізувати інженерні рішення до побудови й оцінки технічних вимог при створенні перспективних тренажерів індивідуальної підготовки для потреб ЗС України.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Словник термінів у військово-технічній сфері стосовно озброєння та військової техніки (вид. друге); під ред. І.Б. Чепкова. Київ: Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України. 2019. 691 с.
2. Словник української мови. НАН України. Т. 1. Київ: Наукова думка. 2010. С. 201.
3. Ковтуненко А.П., Шишанов М.А., Зубарев В.В. Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем: монография. Киев: Книжное изд-во НАУ. 2007. 296 с.
4. Ковтуненко А.П., Шишанов М.А., Зубарев А.В., Онистрат А.А. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения (монография): в 3 т. Киев. 2012. Т. 3: Синтез систем технического обеспечения эксплуатации и ремонта вооружения и военной техники. 424 с.
5. Раскин Л.Г. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления. М.: Сов. радио. 1986. 344 с.
6. Черноскутов А.И., Мурзин В.Н., Щиренков В.Е. Комплексная оценка качества изделий с помощью метода прогрессирующего эталона. Надежность и контроль качества. 1985. № 5. С. 12–16.
7. Русіло П.О. Методика оцінювання рівня технічної досконалості однотипних зразків озброєння та військової техніки. Система озброєння і військова техніка. 2012. № 2(30). С. 82–85.
8. Русіло П.О. Проблемні питання щодо стану та перспектив розвитку навчально-тренажерних засобів для механізованих і танкових підрозділів. Система озброєння і військова техніка. 2010. № 2(22). С. 61–64.
9. <http://www.mil.gov.ua/2014/01/16/kursantiv-ta-oficeriv-viskovo-akademii-avchayut-osnovam-bezavarijnoi-eksploataczii/>.
10. http://simulator.ua/ru/simulators/driving_simulators/trucks.html.
11. Никитушкин С., Акатов И. Перспективы развития учебно-тренировочных средств. Армейский сб. 2019. № 9. С. 73–76.
12. Халин А.Ф. Концепция развития комплекса учебно-тренировочных средств для освоения вооружения, военной и специальной техники. Программные продукты и системы. 2018. Т. 31. № 1. С. 177–183.
13. Кузьменко Р.В. Застосування методу прогресуючого еталону до аналізу даних різної розмірності. Молодий вчений. 2016. № 2(29). С. 182–186.

REFERENCES

1. "Slovyk terminiv u viiskovo-tekhnichnii sferi stosovno ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki (vyd. druge)" [Dictionary of terms in the military and technical sphere regarding weapons and military equipment (second ed.)], ed. by I.B. Chepkov. K.: Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine. 2019. 691 p.
2. "Slovyk ukrainskoi movy" [Dictionary of Ukrainian]. Vol. 1. NAS of Ukraine, Naukova Dumka, K. 2010. P. 201.
3. Kovtunencko, A.P., Shishanov, M.A. & Zubarev, V.V. (2007). "Osnovy teorii vosstanovleniia ekspluatatsionnykh svoistv tekhnicheskikh sistem: monografiia" [The basics of

- the theory of recovery of exclusive property of technical systems: monograph], NAU Book Publishing House, K. 296 p.
4. Kovtunenkov, A.P., Shishanov, M.A., Zubarev, A.V. & Onstristrat, A.A. (2012). "Osnovy voenno-tekhnicheskikh issledovaniy. Teoriia i ptilozhenia (monographia): v 3 t. T. 3: Sintez system tekhnicheskogo obespecheniia ekspluatatsii i remonta vooruzheniia i voennoi tekhniki" [The basis of military-technological research. Theory and attachment (monograph): in 3 vol. Vol. 3: Synthesis of technical support systems for the operation and repair of weapons and military equipment], K. 424 p.
 5. Raskin, L.G. (1986). "Analiz slozhnykh system i elementy teorii optimalnogo upravleniia" [Analysis of complex systems and elements of theory of optimal management], M.: Sov. Radio. 344 p.
 6. Chernoskutov, A.I., Murzin, V.N. & Shchirienkov, V.E. (1985). "Kompleksnaia otsenka kachestva izdelii s pomoshchiu metoda progressivuiushchego etalona" [Complex scene of the cathedral with the help of the method of rushing of the squeezing etalona], The guide and control of the cathedral. № 5. Pp. 12–16.
 7. Rusilo, P.O. (2012). "Metodika otsiniuvannia rivnia tekhnichnoi doskonalosti odnotypnykh zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki" [Methods of assessing the level of technical excellence of the same type of weapons and military equipment]. System of weapons and military equipment. № 2 (30). Pp. 82–85.
 8. Rusilo, P.O. (2010). "Problemni pytannia shchodo stanu ta perspektyv rozvytku navchalno-trenazhernykh zasobiv dlia mekhanizovanykh i tankovykh pidrozdiliv" [Problematic issues about the state and prospects of development of training tools for mechanized and tank units]. System of weapons and military equipment. № 2 (22). Pp. 61–64.
 9. <http://www.mil.gov.ua/2014/01/16/kursantiv-ta-oficeriv-viskovoi-akademii-avchayut-osnovam-bezavarijnoi-ekspluatatsii/>.
 10. http://simulator.ua/ru/simulators/driving_simulators/trucks.html.
 11. Nikitushkin, S. & Akatov, I. (2019). "Perspektivy razvitiia uchebno-trenirovochnykh sredstv" [Prospects for the development of teaching and trainees]. Army Coll. № 9. Pp. 73–76.
 12. Khalin, A.F. (2018). "Kontseptsiiia razvitiia kompleksa uchebno-trenirovochnykh sredstv dlia osvoeniia vooruzhenia, voennoi i spetsialnoi tekhniki" [Concept of development of a complex of tutorial and trainees for the examination of hoar, military and specialized technology], Program products and systems. Vol. 31. № 1. Pp. 177–183.
 13. Kuzmenko, R.V. (2016). "Zastosuvannia metodu progresuiuchogo etalonu do analizu danykh riznoi rozmirnosti" [Application of the method of progressive standard to the analysis of data of different dimension], Young Scientist Scient. J. № 2(29). Pp. 182–186.

Shishanov M., Veretnov A., Chechenkova O.

METHODICAL BASES OF SYSTEMS ANALYSIS OF TRAINERS TECHNICAL LEVEL FOR PERSONNEL INDIVIDUAL PREPARATION OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

In the articles methodical bases of realization of analysis of the systems of trainers of individual preparation are resulted. Methodology of realization of analysis of technical level that is base on the use of analysis of the systems is offered. It is shown that the analysis of technical level must be conducted in two stages: the first is the use of functionally-morphological analysis with the grant of advantage of functional principle; the second is determination of technical level after the method of making progress standard. The article considers the issue of substantiating reliability indicators in the design of military automotive equipment based on the study of mathematical models of their functioning. The solution of the optimization problem of choosing the standardized reliability indicators for the developed products based on the available mathematical models depending on the functional purpose is shown. The general principle of choosing a rational (minimum necessary and sufficient) nomenclature of that in each specific case, military automotive equipment products are classified sequentially according to the established attribute characterizing its purpose, specified (assumed) operating conditions, and so on. Further, depending on the totality of classification groups to which the product is assigned, using a work table, a set of indicators to be defined is determined. Offered methodical bases of analysis of technical level give possibility more authentic to analyse and give an estimation to the technical level of trainers of individual preparation and can be used for the ground of technical requirements at creation of perspective trainers of individual preparation for the necessities of Armed Forces of Ukraine.

Keywords: analysis, coefficient of technical perfection, method of making progress standard, technical level, trainer of individual preparation, trainer complex, functionally-morphological analysis.

Відомості про авторів:**Шишанов Михайло Олексійович**

доктор технічних наук, професор
провідний науковий співробітник
Центрального науково-дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7121-3666>

Веретнов Андрій Олександрович

кандидат технічних наук
провідний науковий співробітник
Центрального науково-дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0160-7325>
e-mail: weretnow5_5@ukr.net

Чеченкова Ольга Леонідівна

старший науковий співробітник
Центрального науково-дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6637-5346>
e-mail: chechenkova@gmail.com

Information about the authors:**Mychailo Shishanov**

Doctor of Technical Sciences, Professor
Lead Researcher of Central Scientific Research Institute
of Armament and Military Equipment of Armed Forces of
Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7121-3666>

Andrei Veretnov

Candidate of Technical Sciences
Lead Researcher of Central Scientific Research Institute
of Armament and Military Equipment of Armed Forces of
Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0160-7325>
e-mail: weretnow5_5@ukr.net

Olga Chechenkova

Senior Research Fellow of Central Scientific Research
Institute of Armament and Military Equipment of Armed
Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6637-5346>
e-mail: chechenkova@gmail.com

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

Шановні читачі!!!

Доводимо до Вашого відома, що в нашому
видавництві відбулися суттєві зміни щодо
оформлення та подання статей
до нашого видання.

По-перше, відкрито сайт журналу, на якому більш
детально 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 (044) 520-12-84,**

+38 (044) 271-09-66

+38 (067) 110-74-43

Глазкова Світлана Валентинівна

E-mail: cndi_ovt@ukr.net.

Надруковано у ТОВ «505»

Україна, м. Житомир, вул. Мала Бердичівська, 17А

Тел.: +38063 101 22 33

Свідоцтво ДК № 5609 від 21.09.2017 р.