

ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА

4(12)
2016

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

ЩОКВАРТАЛЬНИК
ВИДАЄТЬСЯ 3 СІЧНЯ 2014 РОКУ

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

Редакційна колегія:

С.В. Лапицький, д.т.н., гол. ред.
(ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
М.І. Васківський, д.т.н., заст. гол. ред.
(ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Ю.М. Бусяк, д.т.н. (ХКБМ)
А.С. Довгопалій, д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
В.В. Зубарев, д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
А.М. Зубков, д.т.н. (НАСВ)
О.П. Коростельов, д.т.н. (ДержККБ «Луч»)
Д.Б. Кучер, д.т.н. (АВМС)
Д.П. Кучеров, д.т.н. (НАУ)
Б.М. Ланецький, д.т.н. (ХНУПС)
М.І. Луханін, д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
М.М. Мітрахович, д.т.н.
(ДП «Івченко-Прогрес»)
Б.О. Олійник, д.т.н. (ЛНДРТГ)
П.П. Чабаненко, д.в.н., (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
С.М. Гімбер, секр. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)

Редакційна рада:

Ю.А. Гусак, д.в.н. (ВНУ ГШ ЗСУ)
М.М. Шевцов (ОЗСУ)
Г.В. Певцов, д.т.н. (ХНУПС)
П.П. Ткачук, д.іст.н. (НАСВ)
І.В. Толок, к.пед.н. (ДВОН МОУ)
В.Б. Толубко, д.т.н. (ДУТ)
О.В. Харченко, д.т.н. (ДНДІА)

Розглянуто та схвалено до друку
науково-технічною радою
ЦНДІ ОВТ ЗС України
(протокол № 11 від 17.11.2016)
Оригінальний макет виготовлено
Видавничим домом Дмитра Бураго

Адреса редакції:

Україна, 03049, м. Київ,
пр-т Повітрофлотський, 28
Тел.: (044) 271-0966
Факс: (044) 520-12-84
E-mail: cndi_ovt@mil.gov.ua

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

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



© ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2016

У НОМЕРІ

ВОЄННО-ТЕХНІЧНА ПОЛІТИКА

- Чепков І. Б., Луханін М. І., Борохвостов І. В.* Основні аспекти методології формування та супроводження реалізації середньострокових програм озброєння в умовах особливого періоду. 3
Жданов С. В. Проблема заміни парку бойових літаків у Україні 9

ЗЕНІТНІ РАКЕТНІ КОМПЛЕКСИ

- Ланецький Б. М., Коваль І. В., Селезньов С. В.* Методика прогнозування стану парку зенітних ракетних комплексів Повітряних Сил Збройних Сил України для вирішення задач планування розвитку озброєння та військової техніки 17

РАДІОТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ

- Камалтинов Г. Г., Кукобко С. В., Маляренко О. С., Кісель П. І.* Впізнання об'єктів на полі бою. Аналіз світового досвіду 22
Климченко В. Й., Камалтинов Г. Г., Бєлавін О. В., Єфімов І. Л. Особливості розрахунку коефіцієнта використання радіогоризонту в оглядових радіолокаційних станціях метрового діапазону хвиль 27

СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ

- Герасимов С. В., Кукобко С. В., Роцупкін Є. С., Расстригін О. О.* Синтез вимірювальних сигналів для визначення технічного стану систем автоматичного управління 32
Олійник Б. О., Стушенко К. С. Комплекс уніфікованих технічних засобів для командно-штабних машин та вогневих засобів артилерії 37

ОЗБРОЄННЯ ТА ТЕХНІКА ІНЖЕНЕРНИХ ВІЙСЬК

- Шкварський О. В.* Розрахунок військового низьководного мосту на горизонтальне навантаження 42

ТЕХНІКА ТА ОЗБРОЄННЯ ВІЙСЬКОВО-МОРСЬКИХ СИЛ

- Дерепа А. В.* Шляхи усунення невизначеності пеленгування системою «гідроакустична станція – надводний корабель» з гнучкими протяжними буксируваними антенами 50

ВИРОБНИЦТВО, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, РЕМОНТ

- Животовський Р. М., Петрук С. М., Нікіфоров М. М.* Особливості вдосконалення і розвитку системи діагностичного забезпечення на основі методу інтелектуальної підтримки 57
Каховський М. Ю., Гуляєв А. В., Яровіцин О. В., Червяков М. О. Взаємозв'язок теплових характеристик малоамперної дуги і напружено-деформованого стану зварних з'єднань з жароміцних нікелевих сплавів вузлів газотурбінних двигунів військової і транспортної авіації 61

ЖИВУЧІСТЬ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ

- Колчигін М. М., Быков В. Н., Іванченко Д. Д., Глебов В. В., Девятилов Ю. И., Ролєнко С. А., Гричанюк А. М.* Експериментальные исследования индивидуальных широкополосных маскировочных комплектов 67

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ

- Бугера М. Г.* Метод морфологічного аналізу патентної інформації для побудови статистичної моделі прогнозу розвитку захисних пристроїв динамічного типу 71

- Інформація 75

- Резюме 82

WEAPONS AND
MILITARY EQUIPMENT

4(12)
2016

SCIENTIFIC JOURNAL

QUARTERLY
PUBLISHED SINCE JANUARY 2014

TABLE OF CONTENTS

MILITARY TECHNICAL POLICY

Chepkov I., Lukhanin M., Borokhvostov I. Basic aspects of methodology of formation and support of medium-weapons program during a special period. 3
Zhdanov S. V. Problem of replacing the fleet of combat aircraft in Ukraine 9

AIR DEFENSE SYSTEMS

Lanetskyi B. M., Koval I. V., Seleznyov S. V. Methodology of forecasting of the state of air defence systems of the Air Forces of Ukraine for solving tasks of weapons and military equipment development planning 17

RADIO-TECHNICAL FACILITIES

Kamaltynov H. H., Kukobko S.V., Malyarenko O. S., Kisiel P. I. Identification of objects on the battlefield. International experience analysis 22
Klymchenko V. Y., Kamaltynov H. H., Bielavin O. V., Yefimov I. L. Peculiarities of the calculations of radio horizon utilization ratio in vhf band surveillance radars 27

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

Herasymov S. V., Kukobko S. V., Roshchupkin Ye. S., Rasstryhin O. O. Synthesis of measuring signals for determination of the technical state of automatic control systems 32
Oliarnyk B. O., Yevtushenko K. S. Complex of unified technical techniques for staff and command vehicles and artillery 37

WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT OF ENGINEER TROOPS

Shkvarskyi O. Calculations of the military low-level bridge horizontal load 42

NAVY ARMAMENT & EQUIPMENT

Derepa A. The ways of removal of vagueness of direction-finding of system «hydroacoustic station - surface vessel» with the flexible prolonged towed aerials 50

PRODUCTION, UTILIZATION, MODERNIZATION, MAINTENANCE

Zhyvotovskiy R. M., Petruk S. M., Nikiforov M. M. Features improvement and development diagnostic system support predictive based support 57
Kakhovskiy M. Yu., Huliaiev A. V., Yarovitsyn O. V., Cherviaikov M. O. Relationship of thermal characteristics of low-amperage arc and stress-strain state of welded joints from heat-proof nickel-based alloys units of gas-turbine engines of military and transport aviation 61

SURVIVABILITY

Kolchigin N. N., Bykov V. N., Ivanchenko D. D., Glebov V. V., Deviatilov Yu. I., Rolenko S. A., Grichanjuk A. M. Experimental research of individual wide-band camouflage kits 67

INTELLECTUAL PROPERTY

Buhera M. Method of morphological analysis of patent information for the construction of forecasting statistical model of dynamic type protective devices development 71
Information 75
Resume 82

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

Editorial Board:
Lapytskyi S.V., DEng, Chief Editor (CRI WME AFU)
Vaskivskyi M.I., DEng, (CRI WME AFU)
Busyak Yu.M., DEng (KMDB)
Dovhopolyi A.S., DEng (CRI WME AFU)
Zubarev V.V., DEng (CRI WME AFU)
Zubkov A.M., DEng (Hetman Petro Sahaidachnyi NAA)
Korostelyov O.P., DEng ("SKDB"Luch")
Kucher D.B., DEng (NNA)
Kucherov D.P., DEng (NAU)
Lanetskyi B.M., DEng (KNUAF)
Lukhanin M.I., DEng (CRI WME AFU)
Mitrakhovych M.M., DEng (SE Ivchenko-Progress)
Oliarnyk B.O., DEng (SE LRERI)
Chabanenko P.P., DScMil, (CRI WME AFU)
Himber S.M., secretary, (CRI WME AFU)

Editors:
Husak Yu.A., DScMil (MSD GS AFU)
Shevtsov M.M. (AAFU)
Pyevtsov H.V., DEng (KNUAF)
Tkachuk P.P., DSc (Hetman Petro Sahaidachnyi NAA)
Tolok I.V., Cand. Sc. (DMES MoD of Ukraine)
Tolubko V.B., DEng (SUT)
Kharchenko O.V., DEng (SRIA)

Reviewed and approved for publication by
Science and Engineering Board
(record No.11 of 17.11.2016)
*Original dummy copy was made
by Dmitry Burago Publishing House*

Editorial address:
Ukraine, 03049, Kyiv
28, Povitroflotky Ave
tel.: (044) 271-0966
fax: (044) 520-12-84
E-mail: cndi_ovt@mil.gov.ua

Printed Medium State Registration Certificate
serial No. KB 20209-10009R of 20.08.2013
Journal is in the list of scientific professional
publications of the Ministry of Education and
Science of Ukraine
(order No.7-FOUO of 30.09.2014)



УДК 327:355.02(477)

І. Б. ЧЕПКОВ, доктор технічних наук, професор,
М. І. ЛУХАНІН, доктор технічних наук, професор,
І. В. БОРОХВОСТОВ, кандидат технічних наук
 (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

Основні аспекти методології формування та супроводження реалізації середньострокових програм озброєння в умовах особливого періоду

Описаний сучасний стан розроблення документів оборонного планування в Україні. Розглянуті основні аспекти нової методології формування та науково-технічного супроводження реалізації середньострокових програм розвитку озброєння та військової техніки в мирний час та її відмінності в особливий період.

Ключові слова: середньострокові програми, розвиток озброєння та військової техніки, програми озброєння.

Описана ретроспектива прийняття і сучасне состояние системно-концептуальних, нормативных и программно-плановых документов оборонного планирования в Украине и влияние на их создание общесистемных научных исследований. Обосновано развитие методологии формирования среднесрочных программ развития вооружения и военной техники путем применения регулярных схем системных моделей. Рассмотрены основные аспекты новой методологии научного обоснования мероприятий программ вооружения и их отличия при формировании в мирное время и в условиях особого периода.

Ключевые слова: среднесрочные программы, развитие вооружения и военной техники, программы вооружения.

Система оборонного планування, що діє в Україні, останнім часом знаходиться на черговому етапі удосконалення як організаційних заходів, так і методології та методичного забезпечення процесів формування і науково-технічного супроводження (НТС) реалізації документів довгострокового, середньострокового і короткострокового планування.

Затверджені останнім часом на державному рівні концептуальні стратегічні документи, а саме: Стратегія національної безпеки України [1] та Воєнна доктрина України [2] – сформували основу та визначили державні погляди на воєнно-технічну політику (ВТП) в умовах особливого періоду. Це дозволило провести відповідні наукові дослідження щодо коригування завдань із забезпечення Збройних Сил (ЗС) України та інших військових формувань озброєнням та військовою технікою (ОВТ) у довгостроковій перспективі, у результаті чого були розроблені Концепція розвитку сектору безпеки і оборони України [3] та Стратегічний оборонний бюлетень України [4]. Крім того, у 2016 році прийнято рішення щодо розроблення окремого документа, який би визначав розвиток ОВТ та оснащення ними військових формувань сектору безпеки і оборони (СБіО) у довгостроковій перспективі: згідно з Указом Президента України від 2 серпня 2016 року “Про введення в дію Рішення РНБО “Про заходи з розвитку оборонно-промислового комплексу” [5] Кабінету Міністрів України доручено до 1 січня 2017 року забезпечити затвердження основних напрямів розвитку ОВТ на довгостроковий період.

На рис. 1 показана вертикаль державного управління воєнною безпекою держави за допомогою документів оборонного планування та вплив на них результатів відповідних наукових досліджень.

Результати загальносистемних наукових досліджень та цільові настанови зазначених вище стратегічних концептуальних документів є основою для формування середньострокових програмних документів, що визначають розвиток ЗС України та СБіО взагалі. У ЗС України, відповідно до діючого законодавства, існують два документи середньострокового планування:

державна програма розвитку ЗС України, яка визначає розвиток та всебічне забезпечення всіх сфер ЗС України;

державна програма розвитку ОВТ, яка визначає розвиток ОВТ та оснащення ними військових формувань.

У різні роки зазначені програми мали різну назву, але їх сутність та зміст залишалися незмінними до 2015 року. З прийняттям нових стратегічних документів у галузі оборони було здійснено розширення поняття воєнної організації держави до СБіО, що обумовило певний вплив на зміст документів оборонного планування. Перш за все, з’явилася підкріплена нормативними актами можливість комплексного планування розвитку ОВТ усіх збройних формувань держави, необхідність чого існувала вже давно. Саме такий підхід дозволяє, перш за все, уникати дублювання розробок однакового типу ОВТ з близькими показниками вимог до їх бойових та інших властивостей, вирішити проблеми уніфікації та,

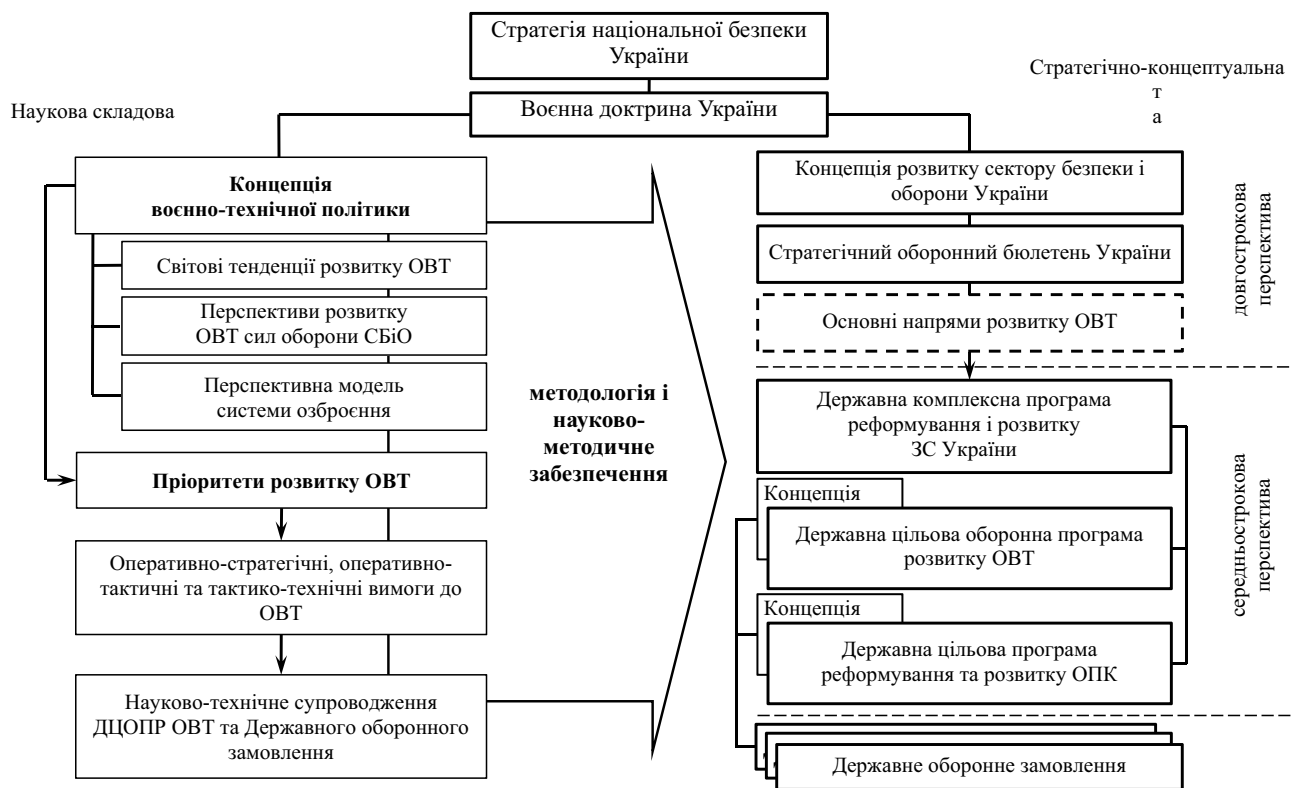


Рис. 1. Вплив загальносистемних наукових досліджень на систему оборонного планування розвитку ОВТ

відповідно, сумісності в разі застосування під час проведення спільних бойових дій.

Процес реформування законодавчих та інших нормативних актів у галузі оборони та, зокрема, оборонного планування, який розпочався у 2015 році, ще не завершений. На цей час не вирішене питання змісту та остаточної редакції Закону України “Про організацію оборонного планування”, який, окрім іншого, повинен визначити перелік документів довгострокового, середньострокового та короткострокового оборонного планування. Чинна редакція цього закону не відповідає останнім затвердженим стратегічно-концептуальним документам оборонного планування та не визначає чіткого переліку та взаємозалежності документів за періодами планування.

Зазначене обумовлює надзвичайну актуальність створення нової методології та удосконалення існуючого науково-методичного забезпечення (НМЗ) формування та НТС реалізації нової державної цільової оборонної програми розвитку (ДЦОПР) ОВТ. З урахуванням концептуальних змін у системі оборонного планування, незважаючи на відсутність затвердженої державної програми розвитку ЗС України, 30 березня 2016 року була затверджена нова ДЦОПР ОВТ на період до 2020 року [6]. Її офіційне прийняття було викликано необхідністю існування затверджених перспектив розвитку ОВТ та планів їх надходження у війська в умовах особливого періоду.

Вперше в складі середньострокової програми були передбачені завдання і заходи з розвитку ОВТ та оснащення ними військових формувань таких складових СБіО, як Державна прикордонна служби України та

Національна гвардія України. Тобто програма отримала надвидовий міжвідомчий характер і за своєю сутністю, цілями й змістом не може бути залежною від програми розвитку ЗС України.

Науковому обґрунтуванню завдань і заходів ДЦОПР ОВТ на період до 2020 року сприяв багаторічний досвід, який був акумульований у Центральному науково-дослідному інституті (ЦНДІ) ОВТ ЗС України щодо розроблення концептуальних засад ВТП України та документів оборонного планування в галузі розвитку ОВТ. Цей досвід знайшов своє відображення в нових методології та науково-методичному забезпеченні формування та НТС реалізації ДЦОПР ОВТ, в яких велику увагу приділено питанням універсалізації та адаптивності методології та методів техніко-економічного обґрунтування кількісно-якісних показників ДЦОПР ОВТ, особливо під час переходу від планування в мирний час до планування розвитку ОВТ у особливий період. Під час формування програми були враховані недоліки попередніх етапів оборонного планування – недостатня гнучкість ієрархічної побудови організаційної структури військових формувань, що виражалася в непристосованості НМЗ до значних змін у кількісно-якісних показниках заходів та фінансово-часових обмеженнях, що притаманні переходу економіки держави до функціонування в умовах особливого періоду.

Завдяки численним науковим дослідженням, які проведені в ЦНДІ ОВТ ЗС України, отриманий високий ступінь формалізації процесу формування та НТС реалізації ДЦОПР ОВТ, що дозволяє мінімізувати як ризики прийняття хибних рішень на ранніх стадіях планування,

так і негативний вплив факторів невизначеності, які супроводжують процеси розвитку ОВТ.

До останніх років в Україні розвиток ОВТ та оснащення ними військ фінансувалися державою за залишковим принципом. Внаслідок цього, у порівнянні з іншими країнами, навіть східноєвропейськими, абсолютні значення асигнувань на розвиток ОВТ в Україні були в рази меншими. Зі світового досвіду відомо, що для підтримання ЗС у боєздатному стані необхідно щорічно оновлювати 4–6% парку бойової техніки [7]. Але висока вартість сучасних зразків озброєння, негативні процеси в оборонно-промисловому комплексі (ОПК) внаслідок відсутності державного оборонного замовлення (ДОЗ) і розриву певних коопераційних зв'язків та відсоток морально і фізично застарілих зразків ОВТ, що збільшується щороку, вимагають значних асигнувань, які для економіки України були і залишаються нереальними. На момент завершення формування та затвердження програми було прийнято рішення щодо надання на потреби оборони не менше 3% ВВП, але навіть за таких умов значний обсяг фінансування її заходів складають інші джерела.

Зазначене набагато ускладнює формування та наукове обґрунтування заходів програми, але не знімає необхідності її існування та досягнення цілей щодо забезпечення потреб оборони.

Кожний етап та елемент наукового обґрунтування змісту завдань і заходів ДЦОПР ОВТ передбачає аналіз великої кількості вихідних даних, проведення багатьох досліджень та здійснення відповідних розрахунків. Враховуючи, що навіть у мирний час на цей процес впливають різноманітні фактори невизначеності як зовнішнього, так і внутрішнього характеру, в особливий період негативні наслідки похибок через їхнє некоректне врахування значно збільшуються.

Виходячи із зазначеного, розвиток теорії і практики наукового обґрунтування програм озброєння є завжди актуальним завданням, а удосконалення методології та НМЗ їх формування має бути постійним процесом, особливо в умовах перманентних змін у зовнішньополітичній обстановці та, відповідно, у державних поглядах на розвиток системи озброєння СБіО.

Розвиток методології формування ДЦОПР ОВТ на даний час в Україні здійснюється шляхом впровадження системних моделей проектних дій зі створення ОВТ, які розглядаються як основа наукового обґрунтування заходів ДЦОПР ОВТ через часові, вартісні та ресурсні подання.

Зміст окремих проектів та програм у цілому включає складні ієрархічні багаторівневі моделі з великою кількістю структурних елементів. Вважається, що ефективним інструментарієм оперування з такими складними моделями є комп'ютерні технології. Тому була поставлена та вирішена задача щодо подання системних моделей у зручному формалізованому виді для подальших еквівалентних перетворень (додавання, логічне множення, порівняння, виділення загальних структур, побудова узагальнених структур, мінімізація (структурна та логічна)) з відносно легкою наступною компіляцією в мову програмування.

З урахуванням аналізу мов опису алгоритмів і структур як формалізована мова побудови системних моделей була використана мова регулярних схем системних моделей (РССМ) [8], що є подальшим розвитком регулярних схем алгоритмів (РСА) академіка В. М. Глушкова [9] та максимально відповідає вимогам до процесів формування ДЦОПР ОВТ. На основі РССМ пропонуються методи побудови системних моделей проектних дій розробників для керування змістом проектів, часом виконання проектів, вартістю проектів, ресурсами, якістю та ризиками. Відмінність запропонованих методів побудови системних моделей для завдань управління проектами та програмами полягає в тому, що під структурним елементом у запропонованій системній моделі буде розумітися елементарна проектна дія, а зв'язки між структурними елементами в системній моделі будуть задаватися базовими операціями РССМ. Для задач синтезу складних системних моделей, порівняння та мінімізації структур моделей використовується система тотожно-еквівалентних перетворень у РССМ і операція згортки.

Системний аналіз ДЦОПР ОВТ та її особливостей дозволив визначити рівні ієрархії програми, фази життєвого циклу окремих проектів програми, стадії, етапи і задачі кожної фази життєвого циклу, рівні та втрати проектування. Системна модель ДЦОПР ОВТ у базисі проектних дій є основою для побудови системних моделей управління ресурсами: часом, вартістю, кадрами, ризиками і якістю проектів.

Виходячи з цього, теоретико-методологічні засади побудови наукових досліджень та проведення організаційних заходів під час обґрунтування кількісно-якісних показників програми озброєння в мирний час пропонується умовно поділити на три етапи (рис. 2):

визначення кількісно-якісного складу (КЯС) системи озброєння в програмному періоді, що відображає цілі програми;

планування термінів розробок і закупівлі ОВТ у програмному періоді;

НТС дослідно-конструкторських робіт (ДКР) та реалізації завдань і заходів ДЦОПР ОВТ.

В умовах мирного часу при плануванні розвитку озброєнь вирішується так звана “пряма” задача воєнно-економічного аналізу, тобто досягнення максимальної ефективності програми озброєння в межах запланованих асигнувань.

На рис. 2 виділені курсивом заходи, напрями та результати досліджень, що притаманні лише умовам мирного часу, а для особливого періоду будуть мати певні відмінності.

При плануванні розвитку ОВТ у мирний час дотримуються збалансованого розвитку всіх видів ЗС та інших військових формувань. Існують жорсткі обмеження бюджетного фінансування, що впливає на задоволення потреби в КЯС системи озброєння та на формування завдань і заходів програми.

Отриманий перелік заходів з розвитку ОВТ та закупівлі нових і модернізованих зразків, який держава має можливість профінансувати в середньостроковій перспективі, надає можливість продовжити планування

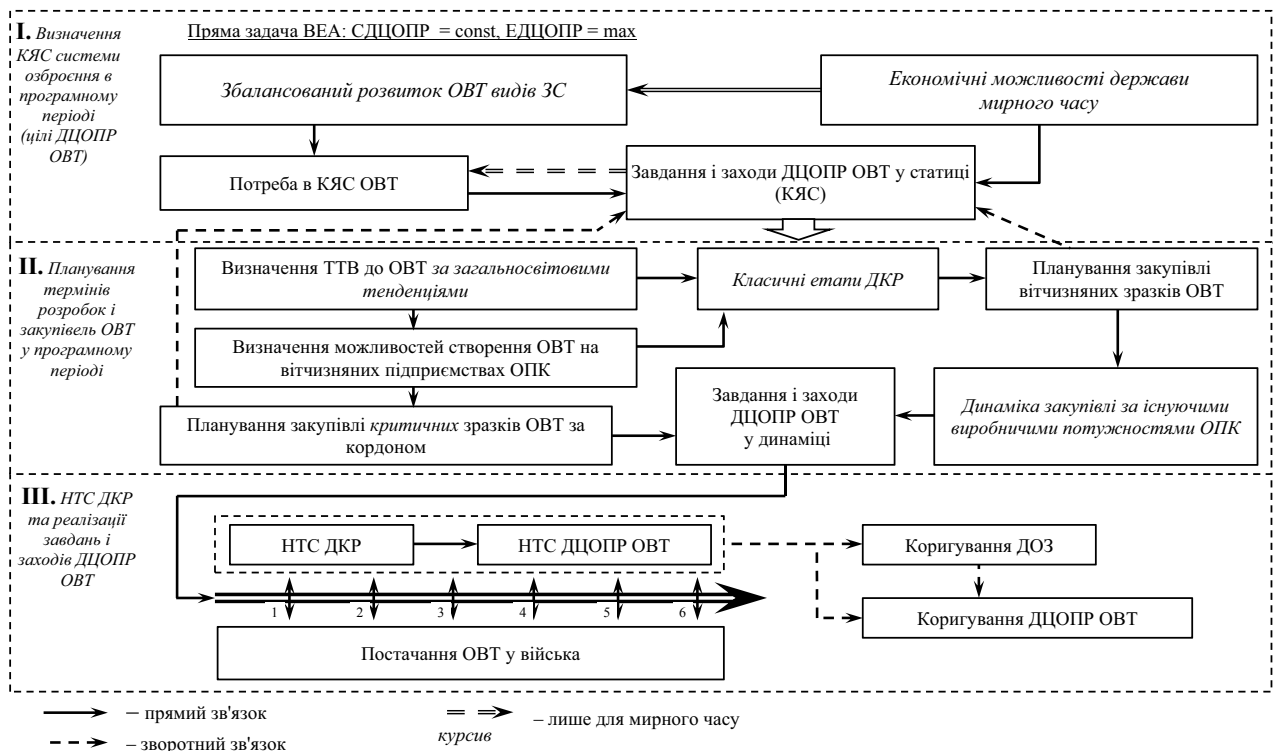


Рис. 2. Формування та НТС реалізації ДЦОПР ОВТ у мирний час

за роками програмного періоду. Так, виходячи із загальносвітових тенденцій, визначаються вимоги до нового озброєння; розраховуються часові та фінансові показники його створення за прийнятою в системі розробки і постановки на виробництво послідовністю; визначаються існуючі та потенційні можливості вітчизняного ОПК щодо динаміки виробництва та обґрунтовуються номенклатура і кількість ОВТ, що вкрай необхідно закупити за кордоном.

Із використанням зазначених вихідних даних проводиться комплекс наукових досліджень, у результаті яких формується остаточний проект програми, що містить вже узгоджені за роками програмного періоду заходи в межах запланованого фінансування. У результаті повинні бути досягнуті цілі програми щодо щорічного надходження у війська певної номенклатури ОВТ у запланованій кількості.

Під час реалізації програми відбувається класичний процес НТС запланованих ДКР та в цілому програми озброєння (див. рис. 2). За необхідності, у разі появи будь-яких відхилень або у виконанні ДКР, або у фінансуванні заходів, проводиться коригування поточного ДОЗ. У випадку відхилень вищезазначеного рівня коригується повністю сама програма.

Під час планування розвитку ОВТ в особливий період вирішується “зворотна” задача воєнно-економічного аналізу, а саме: досягнення заданого рівня ефективності програми з мінімальними витратами бюджетних коштів (рис. 3).

Якщо в мирний час проводився збалансований розвиток систем озброєння видів ЗС, виходячи з економічних можливостей держави, то в умовах особливого

періоду визначаються угруповання військ, що задіяні або можуть бути задіяні в бойових діях, та в першу чергу основні зусилля спрямовуються на їх оснащення і розвиток, а в короткостроковій перспективі – на модернізацію ОВТ, що входить до їх системи озброєння. Це надає можливість визначити кількісно-якісну потребу, яка, по суті, і стане основою завдань і заходів програми. Відмінністю цього процесу є переважний вплив потреб на фінансування, а не навпаки, як у мирний час. Тобто потреба в озброєнні в особливий період має бути максимально забезпечена відповідним фінансовим ресурсом, для чого в державі здійснюється відповідний перерозподіл витратної частини бюджету в бік задоволення потреб оборони та підключаються інші механізми залучення недержавних приватних ресурсів, у тому числі й іноземної допомоги.

В умовах особливого періоду необхідним є прискорення постачання у війська нових і модернізованих зразків ОВТ, що вимагає оптимізації деяких процесів створення зразків, побудови більш гнучкої системи їх розроблення та постановки на виробництво. У кожному конкретному випадку розглядається можливість скорочення термінів проведення ДКР за рахунок зменшення кількості етапів, використання існуючих технологічних напрацювань та спрощення процесу прийняття на озброєння зразків ОВТ, що закупуються або отримуються за кордоном, або розроблені вітчизняними підприємствами в ініціативному порядку. З цього приводу в 2015 році введений в дію Порядок постачання ОВТ під час особливого періоду [10] в доповнення до Порядку розроблення, освоєння та випуску нових видів продукції оборонного призначення [11], що затверджені

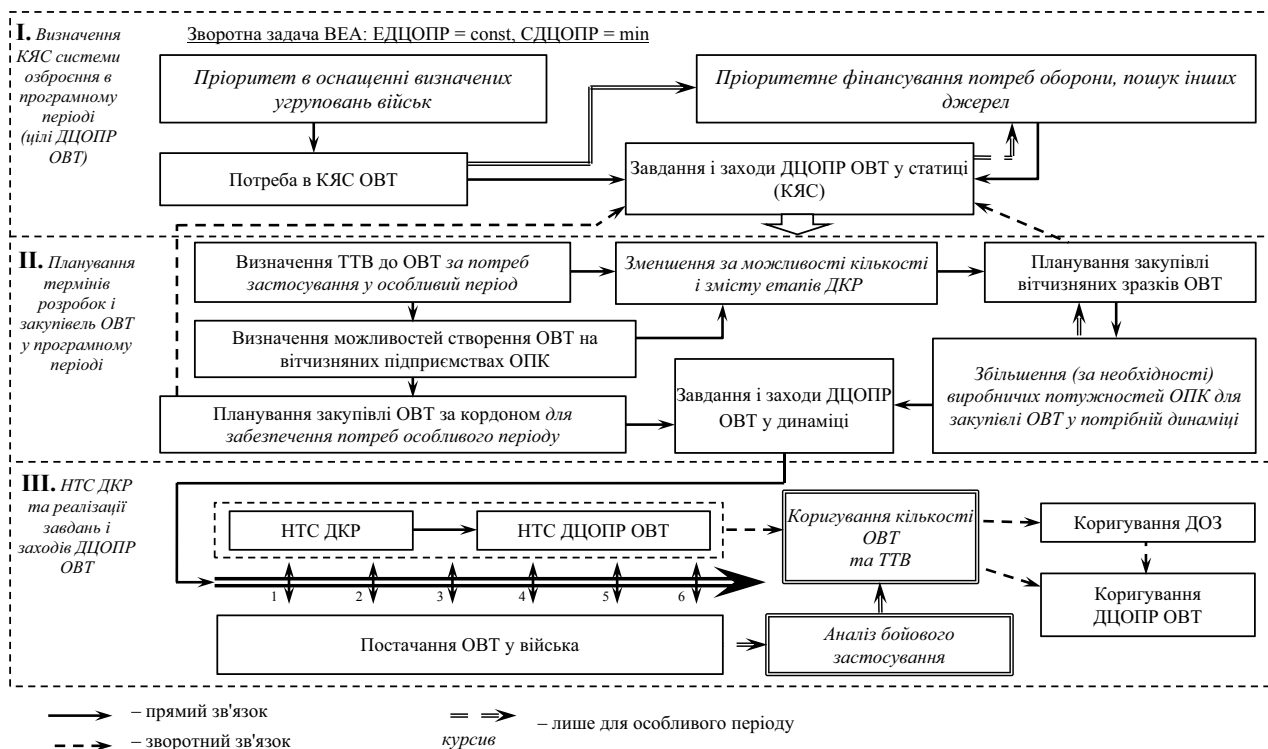


Рис. 3. Формування та НТС реалізації ДЦОПР ОВТ в особливий період

Кабінетом Міністрів України. Крім того, у 2016 році внесені зміни до Закону України “Про Державне оборонне замовлення” [12] та в деякі інші нормативні документи.

Крім того, умови особливого періоду вимагають щорічного надходження у війська значно більшої кількості нових зразків ОВТ, і постає нове завдання щодо їх ремонту та відновлення після бойових ушкоджень. Це, відповідно, потребує в деяких випадках збільшення виробничих потужностей вітчизняних підприємств та їх ремонтного потенціалу.

Під час НТС ДКР та програми в цілому в умовах особливого періоду також постає необхідність оперативного реагування на зміни форм і способів ведення бойових дій, що можуть іноді висувати нові вимоги до технічних властивостей існуючих зразків ОВТ. У деяких випадках необхідно в найменші терміни провести їх модернізацію та постачання у війська. Усе це потребує внесення відповідних змін у державне оборонне замовлення або в програму в цілому, що є відмінністю від процесу супроводження в мирний час.

У новій методології наукових досліджень під час формування ДЦОПР ОВТ завдяки розгляду елементів СБіО у вигляді функціональних блоків процес програмно-цільового планування розвитку ОВТ набуває загальнодержавного значення. Сплановані на середньострокову перспективу заходи щодо виконання ДКР зі створення нових та модернізації існуючих зразків ОВТ, а також плани щодо закупівлі їх певної кількості за роками програмного періоду надають можливість підприємствам ОПК України розпочати процес планування розвитку власних технологічних та виробничих потужностей.

Затверджені на державному рівні перспективні плани розвитку системи озброєння СБіО у вигляді програмного документа, заходи якого підкріплюються фінансовим ресурсом з бюджету країни, визначають певний рівень щорічного ДОЗ щодо виконання ДКР та серійного виробництва потрібної номенклатури ОВТ у необхідній кількості. Зазначене в середньостроковій перспективі допомагає визначати стратегію розвитку кожного підприємства, що задіяне у виконанні ДОЗ, оцінити власний потенційний рівень можливих інноваційних рішень при створенні зразків ОВТ та їх відповідність вимогам держави щодо кількісно-якісних, економічних та часових показників.

Тобто ДЦОПР ОВТ на загальнодержавному рівні виступає в ролі рушійної сили розвитку як підприємств ОПК, так і економіки країни в цілому. Вона дозволяє, з урахуванням реального економічного устрою держави та можливостей підприємств, визначити і спланувати конкретні заходи щодо розвитку майже всіх галузей економіки. Саме завдяки цьому затверджена ДЦОПР ОВТ на період до 2020 року стала основою для обґрунтування заходів щодо розвитку технологій і підготовки виробництва нової Державної цільової програми реформування та розвитку ОПК на період до 2020 року, що на момент написання статті знаходиться на стадії затвердження.

Отже, в умовах особливого періоду в Україні зазначені результати досліджень щодо розвитку нової методології мають високу пріоритетність серед виконання інших наукових та прикладних завдань соціального і економічного розвитку держави. Про це, крім іншого, говорить той факт, що, починаючи з 2016 року,

відбувається поступове збільшення витрат на оборону. Так, у проєкті державного бюджету України на 2017 рік на ці потреби заплановано витратити 5% ВВП України [13], що для слабкої економіки країни є вкрай обтяжливим. Але цих коштів також недостатньо не тільки для прогресивного розвитку всіх ОВТ та їх бойових властивостей, а й, навіть, для доведення їх кількості та боєздатності до необхідного рівня. Тому, як ніколи, постає питання щодо відшукування механізмів та способів оптимального витрачання бюджетних коштів. Саме на вирішення такої задачі й спрямована нова методологія формування середньострокових програм розвитку ОВТ.

Використання розроблених методології та системно-концептуальних основ і теорії формування та супроводження реалізації ДЦОПР ОВТ має важливе практичне значення не тільки в галузі оборонного планування. Результати досліджень можуть бути також застосовані в системі підтримки прийняття управлінських рішень під час наукового обґрунтування інших державних цільових програм, заходи яких мають обґрунтовуватися за критерієм “ефективність – вартість – час”. Це можуть бути програми розвитку промисловості будь-якої галузі, у тому числі космічної, державної інфраструктури і транспорту тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стратегія національної безпеки України : Указ Президента України від 26.05.2015 № 287/2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/287/2015>.
2. Воєнна доктрина України : Указ Президента України від 24.09.2015 № 555/2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.zakon3.rada.gov.ua/laws/show/555/2015>.
3. Концепція розвитку сектору безпеки і оборони України : Указ Президента України від 14.03.2016 № 92/2016 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.zakon3.rada.gov.ua/laws/show/92/2016>.
4. Стратегічний оборонний бюлетень України : Указ Президента України від 06.06.2016 № 240/2016 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/240/2016/para10#n10>.
5. Про заходи з розвитку ОПК України : Рішення Ради безпеки і оборони України від 20.05.2016 : введено в дію Указом Президента України від 02.08.2016 № 323/2016 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0009525-16/para2#n2>.
6. Державна цільова оборонна програма розвитку озброєння та військової техніки на період до 2020 року [Текст] : постанова Кабінету Міністрів України від 30.03.2016 № 284-6.
7. Мунтіян, В. І. Економічна безпека України [Текст] / В. І. Мунтіян. – К. : КВІЦ, 1999. – 139 с.
8. Ілюшко, В. М. Системное моделирование в управлении проектами [Текст] : моногр. / В. М. Ілюшко, М. А. Латкин. – Х. : НАУ “ХАИ”, 2010. – 220 с.
9. Глушков, В. М. Беседы об управлении [Текст] / В. М. Глушков, Г. М. Добров, В. И. Терещенко. – М. : Наука, 1974. – 224 с.
10. Порядок постачання озброєння, військової і спеціальної техніки під час особливого періоду, введення надзвичайного стану та у період проведення анти-терористичної операції : затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 25.02.2015 № 345 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/345-2015-%D0%BF>.
11. Порядок розроблення, освоєння та випуску нових видів продукції оборонного призначення, а також припинення випуску існуючих видів такої продукції : затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 20.02.2013 № 120 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/120-2013-%D0%BF>.
12. Про державне оборонне замовлення : Закон України від 03.03.1999 № 464-XIV (зі змінами) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/464-14>.
13. Про пропозиції до проекту Закону України «Про Державний бюджет України на 2017 рік» по статтях, пов’язаних із забезпеченням національної безпеки і оборони України [Текст] : Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 13.09.2016 : введено в дію Указом Президента України від 16.09.2016 № 404/2016.

Рецензент С. В. Лапицький, д-р техн. наук, проф. (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

УДК 355.02

С. В. ЖДАНОВ,*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник**(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)*

Проблема заміни парку бойових літаків у Україні

Розглянутий один з можливих підходів до вирішення проблеми заміни парку бойових літаків в Україні на рубежі 2025 року, що базується на прогнозі фінансового ресурсу на вирішення проблеми та реалізує вибір оптимального варіанта класу літака за економічним критерієм.

Рассмотрен один из возможных подходов к решению проблемы замены парка боевых самолетов в Украине на рубеже 2025 года, который базируется на прогнозе финансового ресурса на решение проблемы и реализует выбор оптимального варианта класса самолета по экономическому критерию.

Після розпаду СРСР Україна в 1990 році отримала новітній на той час парк бойових літаків: бомбардувальної авіації – літаки типу Ту-160, Ту-95 МС, Ту-22 МЗ, Су-24М; винищувально-бомбардувальної – літаки типу Су-17 МЗ; штурмової – літаки типу Су-25; винищувальної – літаки типу МиГ-29, Су-27. На сьогодні, за прогнозними оцінками фахівців, існуючий парк бойових літаків в Україні, з урахуванням продовження термінів їх служби, може знаходитися в складі Збройних Сил України до 2025–2030 років [1]. Це відповідає світовій практиці продовження термінів служби бойових літаків: для тактичної авіації – до 40 років, стратегічної – до 50 років.

Програмно-цільовий метод (ПЦМ) планування розвитку озброєння та військової техніки [2], широко відомий серед фахівців за напрямом воєнно-технічної політики, передбачає **завчасне планування заходів щодо розвитку озброєння та військової техніки** та відповідного фінансового ресурсу. Використання цього методу дає можливість досягти чіткого визначення конкретних цілей, на які призначені певні кошти в галузі розвитку озброєння та військової техніки, і результатів, за якими слід оцінювати ефективність їх використання [3].

Стосовно заміни парку бойових літаків в Україні застосування ПЦМ передбачає планування крім фінансових ресурсів також конкретних цілей, наприклад, переозброєння однієї авіаційної ескадрильї на новий тип бойового літака, отримання нових підвищених бойових можливостей цього підрозділу при виконанні завдань за призначенням.

Метою статті є спроба завчасно звернути увагу науковців, експертів з озброєння, відповідальних посадових осіб Ради національної безпеки та оборони, Міністерства оборони, ДК “Укроборонпром”, центральних органів виконавчої влади **на проблему заміни парку бойових літаків в Україні**, а також запропонувати один з можливих підходів до її вирішення.

При цьому передбачається, що критичний аналіз та обговорення фахівцями даної публікації призведе до широкого обговорення проблеми на експертному рівні, появи інших, альтернативних підходів до її вирішення, вибору серед них найкращого варіанта та впровадження його в заходах на державному рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [4, 5], в яких започатковано розв’язання проблеми заміни парку бойових літаків в Україні, свідчить про те, що в їхній основі лежить задача досягнення максимального значення визначеного показника, а саме: технічного рівня зразка або коефіцієнта його бойового потенціалу. Таким чином, в цих дослідженнях опосередковано пропонується замінювати парк бойових літаків в Україні на літак, який має найвищий показник (технічного рівня, бойового потенціалу).

При цьому невирішеною частиною загальної проблеми є економічний аспект вибору варіанта типу літака для заміни парку бойових літаків в Україні. Відмінністю підходу, який розглядається в статті, від інших досліджень з цієї проблеми є спроба розв’язання оберненої задачі: від прогнозу фінансового ресурсу на заміну парку, який може бути гарантовано забезпечений

з урахуванням економічних можливостей держави, до визначення класу та кількості нових бойових літаків. При цьому під класом бойових літаків (для тактичної авіації Збройних Сил України) розуміється: багатофункціональний винищувач, навчально-бойовий літак з турбореактивною силовою установкою та навчально-бойовий літак з турбогвинтовою силовою установкою, а під типом – конкретний літак від компанії-виробника, наприклад, літак JAS-39 «Gripen NG» (SAAB, Швеція). У статті ставиться завдання обґрунтувати можливий клас літаків для заміни парку, при цьому конкретний тип літака та компанія-виробник вважається, що будуть визначатися за результатами тендера відповідно до вимог законодавства України.

Статистичні дані щодо контрактів із заміни парку бойових літаків, що були укладені в останні роки в суміжних з Україною та близьких за економічним розвитком країнах, є базою цього дослідження. Для аналізу парку бойових літаків були обрані країни: Польща, Туреччина, РФ, Білорусь, Угорщина, В'єтнам, Чехія, Румунія тощо. Аналіз кількісно-якісного складу (рис. 1) цих парків (станом на кінець 2014 року) [6], свідчить, що, крім України, лише декілька країн Європи (Румунія, Болгарія) не визначилися щодо оновлення парку бойових літаків. При цьому деякі країни не мають (Естонія,

Латвія, Литва) або вже втратили (Молдова) відповідні парки бойових літаків у складі своїх збройних сил. Україна у заміні свого парку повинна орієнтуватися на закордонний досвід, в першу чергу, європейських країн, близьких за рівнем економічним розвитку.

Тип літака, що пропонується на заміну, визначається, виходячи з типів, які представлені на світовому ринку озброєння. Основними критеріями при цьому є: вартість, у тому числі життєвого циклу, гарантія збереження серійного виробництва в 2025 році, наявність довгострокових контрактів, перебування на озброєнні в арміях європейських країн. На світовому ринку озброєнь, при цьому в статті в основному розглядається європейський ринок, представлені такі типи сучасних багатофункціональних винищувачів (рис. 2): F-35A «Lightning» II («Lockheed Martin», США), EF-2000 «Typhoon» («Eurofighter», EC), «Rafale C» («Dassault», Франція) та JAS-39 «Gripen NG» (SAAB, Швеція).

Саме ці типи багатофункціональних винищувачів в основному перебувають на озброєнні або плануються до закупівлі в європейських країнах і є перспективними щодо виробництва у 2025–2030 роках. Тактико-технічні характеристики літаків, що наведені в статті, взяті з офіційних сайтів компаній-виробників, а також довідника Jane's [7].

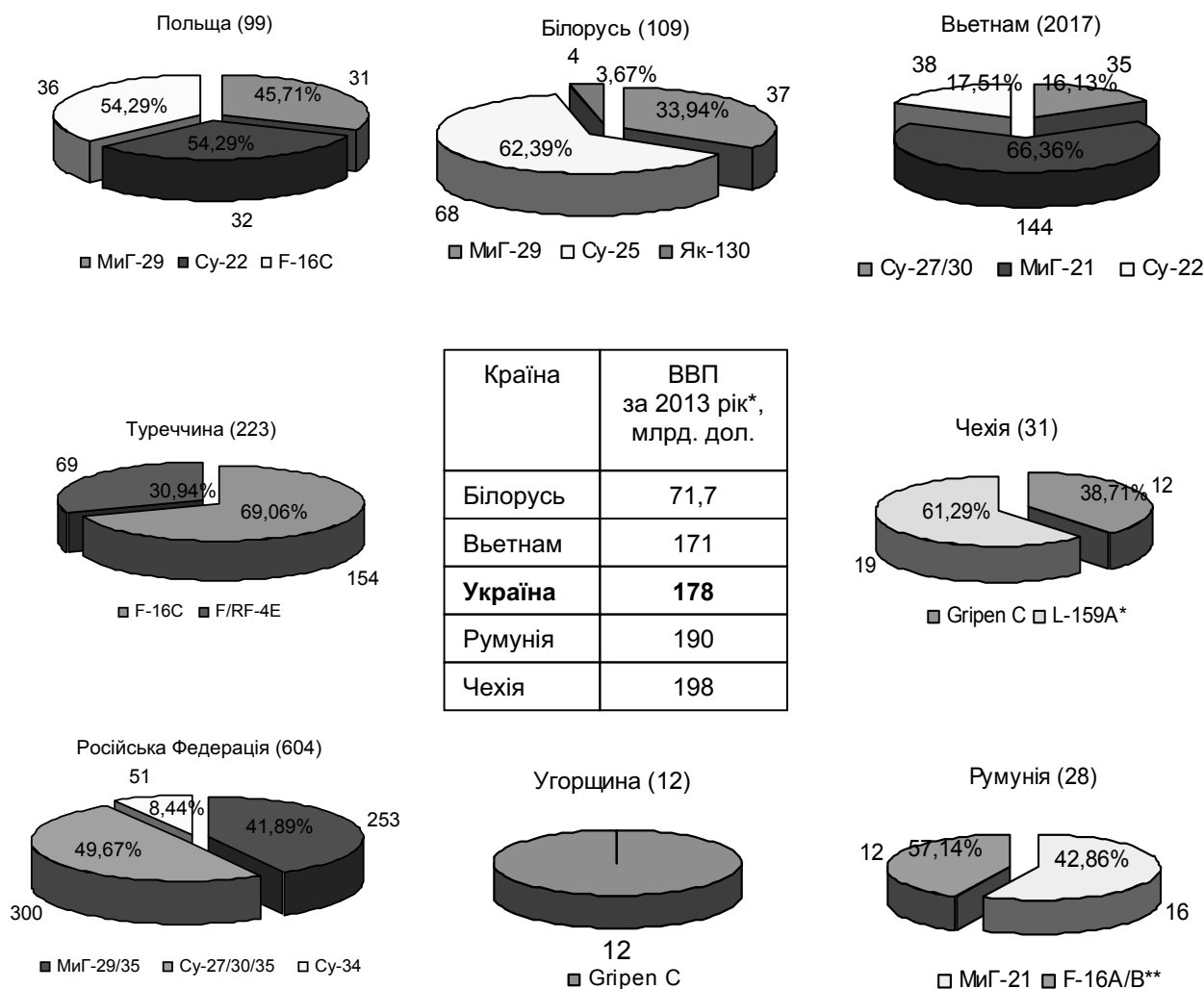


Рис. 1. Стан парку бойових літаків у суміжних з Україною та близьких за економічним розвитком країнах

Довжина.....	15,7 м
Розмах крила.....	10,7 м
Площа крила.....	42,7 м ²
Швидкість.....	1,6 М
Бойовий радіус дії.....	1093 км
Внутрішній запас палива.....	8278 кг
Максимальне перевантаження	9,0
Озброєння.....	8160 кг
Силова установка.....	F135-PW-100
Тяга (мах).....	40000 lb



Довжина.....	15,27м
Розмах крила.....	10,80 м
Площа крила.....	45,70 м ²
Швидкість.....	1,9 М
Бойовий радіус дії.....	1055 км
Внутрішній запас палива.....	4500 кг
Максимальне перевантаження	9,0
Озброєння.....	9500 кг
Силова установка.....	SNECMA M88-2
Тяга (мах/mil).....	2 x 92.90/2 x 73.23 кН

Довжина.....	15,27м
Розмах крила.....	10,80 м
Площа крила.....	45,70 м ²
Швидкість.....	1,9 М
Бойовий радіус дії.....	1055 км
Внутрішній запас палива.....	4500 кг
Максимальне перевантаження	9,0
Озброєння.....	9500 кг
Силова установка.....	SNECMA M88-2
Тяга (мах/mil).....	2 x 92.90/2 x 73.23 кН



Довжина.....	15,7 м
Розмах крила.....	10,7 м
Площа крила.....	42,7 м ²
Швидкість.....	1,6 М
Бойовий радіус дії.....	1093 км
Внутрішній запас палива.....	8278 кг
Максимальне перевантаження	9,0
Озброєння.....	8160 кг
Силова установка.....	F135-PW-100
Тяга (мах).....	40000lb

Рис. 2 Типи багатофункціональних винищувачів, що представлені на світовому ринку озброєнь

Крім того, на ринку представлені сучасні навчально-бойові літаки з турбореактивною силовою установкою (рис. 3.) Ці літаки пропонуються як рішення проблеми заміни парку для країн, що за обмеженими фінансовими ресурсами не можуть собі дозволити мати в бойовому складі збройних сил багатофункціональні винищувачі. Крім того, цей варіант розглядають також країни, які планують мати змішаний парк бойових літаків. При розгляді цього класу літаків вважається, що літак L-15 (Hongdu Aviation Industry Group, КНР) у подальшому буде мати не тільки модифікацію навчально-тренувального літака,

а також і навчально-бойового літака з відповідним комплексом авіаційного озброєння. Це ж стосується і літака М-346 (Alenia Aermacchi, Італія).

У статті не ставилося завдання обґрунтування вибору одного з цих двох типів літаків. Такий вибір знаходиться в площині прийняття рішення щодо обрання довгострокового напрямку військово-технічного співробітництва України за авіаційною тематикою. Це рішення повинно прийматися на вищому рівні державного управління та бути узгодженим з вимогами “Стратегії національної безпеки України”, “Воєнної доктрини України” [8, 9].



Довжина.....	12,08 м
Розмах крила.....	8,73 м
Площа крила.....	21,0 м ²
Швидкість.....	1486 км/год
Бойовий радіус дії.....	550 км
Дальність.....	3000 км
Внутрішній запас палива.....	2000 кг
Максимальне перевантаження	8,0
Озброєння.....	2000 кг
Силова установка.....	АІ-222К-25Ф
Тяга (мах).....	2х3500 кгс

Довжина.....	11,5 м
Розмах крила.....	9,72 м
Площа крила.....	23,52 м ²
Швидкість.....	1084 км/год
Бойовий радіус дії.....	1889 км
Дальність.....	2590 км
Внутрішній запас палива.....	1950 кг
Максимальне перевантаження	8,0
Озброєння.....	3000 кг
Силова установка.....	F124-GA-200
Тяга (мах).....	2х2850 кгс



Рис. 3 Типи навчально-бойових літаків з турбореактивною силовою установкою які представлені на світовому ринку озброєнь



Довжина.....	10,16 м
Розмах крила.....	11,4 м
Площа крила.....	16,6 м ²
Швидкість (мах).....	0,67 М
Макс. дальність.....	2895 км
Макс. дальність з ПТБ.....	3195 км
Внутрішній запас палива.....	544 кг
Запас палива з 4 ПТБ.....	1319 кг
Практична стеля.....	9449 м
Максимальне перевантаження	6,0
Максимальна злітна маса.....	4536 кг
Нормальна злітна маса.....	2671 кг
Кількість точок підвішування АЗУ.....	6
Озброєння (АЗУ)...Mk-81(82);GBU-12(49,58, 59);	
APKWS 2.75»;TALON 2.75»; GATR 2.75»; AGM-114	
Hellfire	
Силова установка	Pratt & Whitney PT6A-68D
Тяга (мах).....	1600 shp

Довжина.....	11,42 м
Розмах крила.....	11,14 м
Площа крила.....	19,4 м ²
Швидкість (мах).....	557 км/год
Швидкість (економ.).....	424 км/год
Бойовий радіус дії.....	1568 км
Дальність.....	2768 км
Внутрішній запас палива.....	538 кг
Практична стеля.....	10670 м
Максимальне перевантаження	7,0
Макс. швидкопідйомність.....	895 м/хв
Максимальна злітна маса.....	3600 кг
Макс. навант. на крило.....	164,4 кг/м ²
Тривалість польоту	6 год 30 хв
Озброєння.....	1500 кг
Силова установка.....	PT6A-68A
Тяга (мах).....	1300 shp



Рис. 4 Типи навчально-бойових літаків з турбогвинтовою силовою установкою, що представлені на світовому ринку озброєнь

Проведені на сьогодні дослідження перспектив розвитку бойової авіаційної техніки виявили тенденцію сталого розвитку нового класу навчально-бойових літаків з турбогвинтовою силовою установкою (рис. 4).

На цей клас літаків покладені такі завдання: безпосередньої підтримки військ на полі бою, завдання вогневого ураження по незаконних збройних формуваннях, ведення протипартизанської боротьби, боротьби з наркоторгівлею, участі в збройних конфліктах низької інтенсивності.

Замовлення літаків цього класу з кожним роком зростають, поширюється географія їх застосування. Показовим є приклад замовлення 20 літаків EMB-314 (A-29) «Super Tucano» («Embraer», Бразилія) для збройних сил Афганістану. Планується, що ці літаки, поряд з бойовими вертольотами афганської армії, будуть збільшувати можливості авіації щодо вогневого ураження наземних цілей.

У науковому середовищі серед фахівців оцінка ефективності літаків цього класу неоднозначна, за деяким оцінками, це – повернення у минуле. При цьому більш глибокий аналіз номенклатури авіаційних засобів ураження, у тому числі високоточних, сучасної авіоніки, комплексу авіаційного озброєння та оборони, сучасної технології “скляної кабіни”, протиперевантажних костюмів та кисневого обладнання, катапультних крісел пілотів може змінити першу негативну оцінку літаків.

Цей клас літаків для України пропонується розглядати лише на випадок появи так званого “розриву у часі”, який може з’явитися при оновленні парку бойових літаків. Йдеться про проміжок часу між завершенням виводу з бойового складу літаків типу Су-27, МиГ-29, Су-25 та початком постачання нових бойових літаків (багатофункціонального винищувача або навчально-бойового літака з турбореактивною силовою установкою) Повітряним Силам. У подальшому в експлуатації Повітряних Сил може перебувати змішаний парк бойових літаків. Крім того, розробка літаків цього класу вітчизняною промисловістю, наприклад, ДП “Антонов”, може розглядатися як перший крок до розвитку бойової авіації в Україні, такий підхід забезпечить зменшення технічних ризиків при розробці більш складних проектів бойової авіаційної техніки.

Прогноз фінансового ресурсу на заміну парку бойових літаків на період до 2025 року розраховується таким чином: на підставі аналізу інформації (ВВП, видатків на потребу Збройних Сил, розвиток ОВТ) за період з 2010 по 2015 рік, яка отримана з офіційних відкритих джерел інформації [10–16], визначений середній відсоток на розвиток ОВТ від планових показників видатків на Збройні Сили. За проведеною оцінкою він складає близько 13%, хоча в арміях провідних країн світу цей показник складає близько 30%.

На підставі інформації щодо прогнозу економічного та соціального розвитку України на 2015–2017 роки з урахуванням сценарію 2 [17], визначені прогнозні показники ВВП України, при цьому з 2018 року та в подальшому закладено зростання ВВП на 3,5% кожен рік. З урахуванням 2% ВВП на розвиток Збройних Сил [18]

отримані фінансові показники з 2016 до 2025 року. З урахуванням середнього відсотку 13% на розвиток ОВТ від видатків на Збройні Сили (табл. 1) отримані прогнозні фінансові показники на розвиток ОВТ на період до 2025 року (табл. 2).

У подальшому в дослідженні вводиться припущення, що близько 30% фінансового ресурсу від видатків на розвиток ОВТ кожного року, починаючи з 2016 року, будуть направлені на заміну парку бойових літаків. Таким чином, у 2025 році прогнозується, що буде акумульовано на рахунку за відповідною статтею бюджету фінансовий ресурс, який у перерахунку складає близько 941,2 млн. дол. (табл. 2).

Оцінка варіантів заміни парку бойових літаків в Україні при запропонованому підході здійснюється за таким ітераційним алгоритмом: перший пункт: визначення мінімальної кількості літаків, що планується закупити для заміни парку бойових літаків; другий пункт: обрання класу бойового літака, яким планується оновити парк бойових літаків; третій пункт: оцінка достатності фінансових ресурсів для заміни парку бойових літаків відповідно до обраного класу. У разі недостатності фінансового ресурсу необхідна зміна варіанта та обрання іншого класу літака за рахунок зменшення амбіцій в частині функціональних можливостей літака. Потім перевіряються можливості фінансового забезпечення нового варіанта. Таким чином, реалізується ітерація (повторення) другого та третього пункту алгоритму.

Практичне використання запропонованого підходу полягає в такому. Мінімальна кількість літаків, що планується закупити для заміни парку бойових літаків, з тактичних міркувань – 12 (дванадцять) літаків, одна авіаційна ескадрилья, окремий підрозділ, який здатний самостійно вести бойові дії. Досвід європейських країн Чехії, Угорщини підтверджує саме такий підхід до визначення мінімальної кількості літаків для оновлення парку.

У статті в подальшому застосовується термін “умовна вартість літака”. Під умовною вартістю літака приймається його середня вартість відповідно до вартості контракту, який включає постачання літаків, авіаційного озброєння, тренажерів, навчання льотного та інженерного складу та інше. Умовна вартість літака розраховувалася: для літака JAS-39 «Gripen NG» на підставі аналізу контракту зі Швейцарією (не укладений), M-346 з Польщею, L-15 з Замбією, EMB-314 (A-29) «Super Tucano» з Афганістаном.

Обираємо для оцінки перший варіант – заміна парку на літак класу “багатофункціональний винищувач”, як приклад, на літак типу JAS-39 «Gripen NG» (SAAB, Швеція). Проводимо оцінку достатності фінансового ресурсу на заміну парку відповідно до прогнозу фінансового ресурсу 0,941 млрд. дол., нестача ресурсу складає близько 44% від умовної вартості контракту на закупівлю 12 літаків JAS-39 «Gripen NG» (1,690 млрд. дол.). Умовна вартість літака складає 140,91 млн. дол. У даному випадку є два рішення:

Таблиця 1

Статистичні дані для оцінки середнього відсотку на розвиток ОБТ від видатків на потребу ЗС України							
Показники видатків	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
ВВП (Укрстат), млн. дол.	136420	165239	176308	182026	130908	83227	
ВВП (Укрстат), млн. грн	1082569	1316600	1408889	1454931	1566728	1831000	
Відсоток ВВП на ЗС, %	0,97	0,97	1,05	1,04	1,75	2,2	
Видатки на потребу ЗС (план)	12477,1	13804,4	16374,3	15281,2	13528,7	39429,9	
Видатки на потребу ЗС (факт)	10533,6	12709,1	14761,9	15160,2	27346,3		
Видатки на розвиток О, ВТ та І (план)	1717,5	1828,8	2622,6	1565,6	456,8163	5246,5	
Видатки на розвиток О, ВТ та І (факт)	736,6	1138,6	1821,9	1536,6	3962,10		
Видатки на розвиток О, ВТ та І (факт), млн. дол.	92,823	142,899	227,992	192,244	331,053	238,477	
Відсоток на розвиток ОБТ від планових показ. видатків на ЗС, %	5,90	8,25	11,13	10,06	29,29	13,31	
Середній відсоток на розвиток ОБТ від видатків на потребу ЗСУ:							13,0%

Примітка. ОВТ та І – озброєння, військова техніка та інфраструктура

Таблиця 2

Прогноз фінансового ресурсу на заміну парку бойових літаків по роках (30% від видатків на розвиток ОВТ)													
Показники видатків	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025			
ВВП (Укрстат), млн. дол.	94564	107259	111013	114899	118920	123082	127390	131849	136464	141240			
ВВП (Укрстат), млн. грн	2080400	2359700	2442289,5	2527769,633	2616241,57	2707810	2802583	2900674	3002197	3107274			
Відсоток ВВП на ЗС, %	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0			
Видатки на потребу ЗС (план)	41608,0	47194,0	48845,8	50555,4	52324,8	54156,2	56051,7	58013,5	60043,9	62145,5			
Видатки на розвиток О, ВТ та І (факт), грн	5409,0	6135,2	6350,0	6572,2	6802,2	7040,3	7286,7	7541,8	7805,7	8078,9			
Видатки на розвиток О, ВТ та І (факт), млн. дол.	245,865	278,874	288,634	298,736	309,192	320,014	331,214	342,807	354,805	367,223			
Відсоток на розвиток ОВТ від планових показ. видатків на ЗС, %	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0			
Фінансовий ресурс на заміну парку бойових літаків по роках, 30%, млн.дол.	73,76	83,662	86,590	89,621	92,758	96,004	99,364	102,842	106,442	110,167			
Фінансовий ресурс на заміну парку бойових літаків, млн. дол.:										941,210			

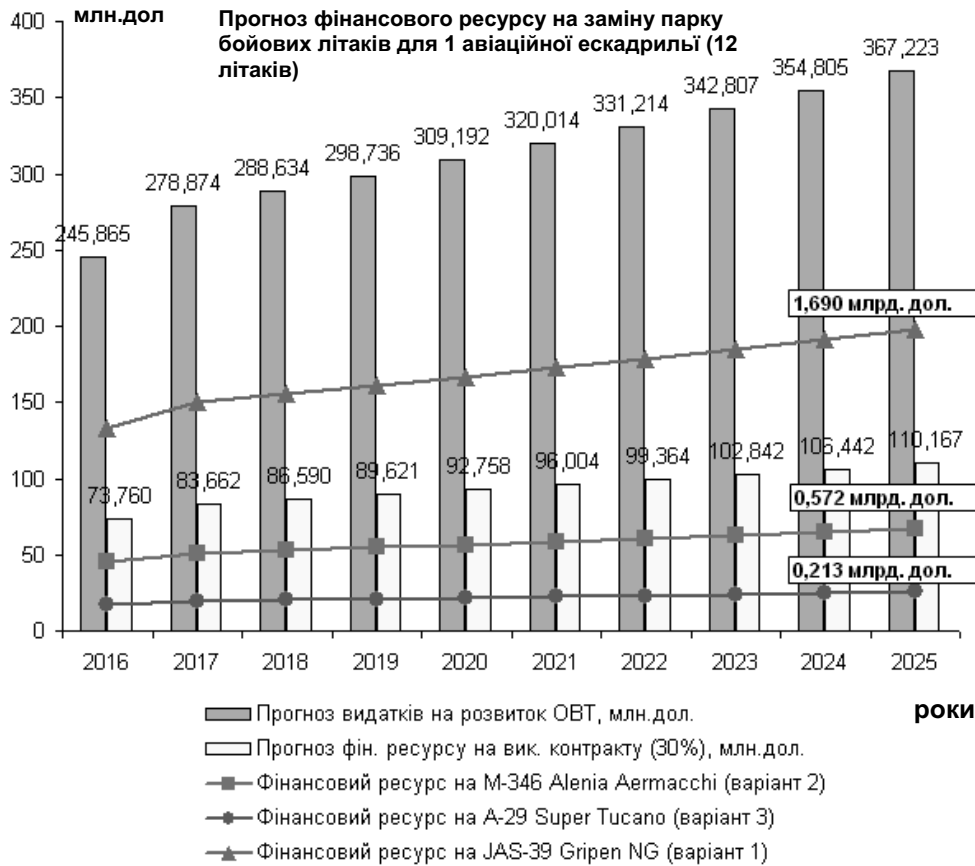


Рис. 5. Оцінка варіантів заміни парку бойових літаків в Україні

перше, це збільшення видатків на виконання контракту від видатків на розвиток ОВТ, наприклад від 30 до 50%, але це неминуче призведе до згортання розвитку ОВТ інших видів Збройних Сил;

друге, це зменшення амбіцій у заміні парку і перехід до другого варіанта (як показує подальша оцінка – оптимального за економічним критерієм), а саме: заміна парку бойових літаків на літак класу “навчально-бойовий літак з турбореактивною силовою установкою”. Як приклад беремо літак типу М-346 («Alenia Aermacchi», Італія). Отримуємо оцінку, що цей варіант може бути реалізований, для цього потрібно близько 0,572 млрд. дол. Умовна вартість літака складає 47,71 млн. дол.

Залишок фінансового ресурсу може бути перерозподілений відповідно до однієї з таких пропозицій:

- 1) для планування закупівлі, ще однієї авіаційної ескадрильї літаків цього ж типу (потребує збільшення фінансового ресурсу від початкового на 0,203 млрд. дол.);
- 2) для планування закупівлі ще однієї авіаційної ескадрильї літаків типу ЕМВ-314.

Третій варіант – заміна парку на літак класу “навчально-бойовий літак з турбогвинтовою силовою установкою”. Як приклад обрано літак типу ЕМВ-314 (А-29) «Super Tucano» («Embraer», Бразилія). Оцінка фінансового ресурсу на його реалізацію складає близько 0,213 млрд. дол. (рис. 5). Умовна вартість літака – 17,75 млн. дол. Цей варіант може розглядатися лише при негативному сценарії розвитку подій щодо заміни парку

бойових літаків в Україні у разі появи загрози щодо його втрати або при плануванні змішаного парку бойових літаків у складі Збройних Сил України.

Таким чином, розглянуто три можливі варіанти заміни парку бойових літаків та запропонований оптимальний з погляду економічної можливості держави (економічного критерію) варіант заміни парку бойових літаків на літак класу “навчально-бойовий літак з турбореактивною силовою установкою” на підставі прогнозу фінансового ресурсу на реалізацію контракту із закупівлі 12 (дванадцяти) літаків даного класу для переозброєння однієї авіаційної ескадрильї.

Висновки

1. Актуальність дослідження проблеми заміни парку бойових літаків в Україні пов’язана із закінченням термінів служби літаків типу Су-27, МиГ-29, Су-25 у період 2025–2030 років (2030 рік – граничний термін перебування літаків у складі Повітряних Сил Збройних Сил України).

2. З урахуванням виникнення можливих проблем із забезпеченням ремонту літаків (через закінчення запасів агрегатів, блоків, застарілості елементної бази та ін.), а також через зниження технічного рівня (бойового потенціалу) літаків парку в порівнянні з парками бойових літаків суміжних з Україною країн потреба в заміні парку може настати раніше, у 2020–2025 роках.

3. Програмно-цільовий метод планування розвитку озброєння та військової техніки передбачає, що заходи із заміни парку бойових літаків в Україні повинні бути завчасно сплановані. При цьому повинні плануватися конкретні цілі, наприклад, переозброєння однієї авіаційної ескадрильї (12 літаків) з отриманням нових підвищених можливостей підрозділу щодо ведення бойових дій, та фінансовий ресурс для їх досягнення.

4. Розглянутий один з можливих підходів до вирішення проблеми заміни парку бойових літаків в Україні на рубежі 2025 року, який базується на отриманні прогнозованих показників фінансового ресурсу та ітераційного пошуку варіанта вибору класу літака: багатофункціональний винищувач, навчально-бойовий літак з турбореактивною силовою установкою, навчально-бойовий літак з турбогвинтовою силовою установкою.

5. Практична реалізація запропонованого підходу може розглядатися в контексті створення окремої захищеної бюджетної статті для акумулювання фінансового ресурсу на вирішення проблеми, наприклад, “Контракт на закупівлю літаків “назва типу літака” для заміни парку бойових літаків Повітряних Сил ЗС України” або в контексті розробки окремої Державної цільової оборонної програми відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 31.01.2007 № 106 “Про затвердження Порядку розроблення та виконання державних цільових програм”.

Перспективою подальших розвідок у даному напрямі досліджень є уточнення показників, що використані при розрахунках, урахування багатьох інших факторів (валютні ризики, похибка вартості контракту та ін.), розгляд альтернативних підходів та методичного апарату. Результатами наукових досліджень за цим напрямом повинні стати завчасно сплановані заходи державного рівня, в іншому випадку, у 2025–2030 роках, може не вистачити часу та фінансового ресурсу для вирішення надскладної проблеми заміни парку бойових літаків в Україні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Харченко, О. В. Глибока модернізація та переозброєння авіації Збройних Сил України – вимога часу [Текст] / О. В. Харченко, С. В. Пащенко // Наука і оборона. – 2015. – № 1. – С. 40–47.
2. Программно-целевое планирование развития и научно-техническое сопровождение вооружения и военной техники [Текст] : учеб. пособие. В 3-х кн. Кн. 2 / Б. А. Демидов, М. М. Митрахович, М. И. Луханін [и др.] ; под ред. Б. А. Демидова. – Харьков : ХВУ, 1997. – 427 с.
3. Воєнно-технічна політика: проблеми формування та управління [Текст] : моногр. / В. О. Смірнов,

- Л. М. Ленський, С. В. Жданов ; за заг. ред. В. О. Смірнова. – К. : ЦНДІ ОБТ ЗСУ, 2011. – 216 с.
4. Нор, П. І. Методика оцінки технічного рівня зразків озброєння та військової техніки [Текст] / П. І. Нор, А. Г. Павленко, О. М. Горський // Труді університету / НУОУ. – 2012. – № 3 (109). – С. 188–194.
5. Мавренков, О. Є. До питання оцінювання реалізованості програмних заходів з технічного оснащення авіації Збройних Сил України [Текст] / О. Є. Мавренков, В. І. Улізько // Збірник наук. праць ДНДІА. – Вип. 15. – К. : ДНДІА, 2012. – С. 24–28.
6. World Air Force 2014 [Text] / Flightglobal.
7. Jane's All the World's Aircraft [Text] / Sampson Low, Marston & Company, Ltd. – London.
8. Стратегія національної безпеки України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/287/2015>.
9. Воєнна доктрина України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.president.gov.ua/documents/5552015-19443>.
10. ВВП / Укрстат [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrstat.net/undefined#GDP>.
11. Біла книга 2010: Збройні Сили України [Текст]. – К.:МОУ, 2011. – 79 с.
12. Біла книга 2011: Збройні Сили України [Текст]. – К.:МОУ, 2012. – 79 с.
13. Біла книга 2012: Збройні Сили України [Текст]. – К.:МОУ, 2013. – 79 с.
14. Біла книга 2013: Збройні Сили України [Текст]. – К.:МОУ, 2014. – 79 с.
15. Про Державний бюджет : закон України. Додаток 3. 2014 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/719-18/page2>.
16. Про Державний бюджет : закон України. Додаток 3. 2015 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/80-19/page3>.
17. Прогноз економічного та соціального розвитку України на 2015–2017 роки (ПКМУ № 76 від 14.02.15) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/76-2015-%D0%BF>.
18. Стратегія сталого розвитку “Україна – 2020” [схвалено Указом Президента України від 12 січня 2015 року № 5/2015] [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/5/2015>.

Рецензент М. І. Луханін, д-р техн. наук, проф.
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

УДК 623.4.017

Б. М. ЛАНЕЦЬКИЙ, заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор,
І. В. КОВАЛЬ, кандидат технічних наук,
С. В. СЕЛЕЗНЬОВ, кандидат технічних наук
 (Науковий центр Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба)

Методика прогнозування стану парку зенітних ракетних комплексів Повітряних Сил Збройних Сил України для вирішення задач планування розвитку озброєння та військової техніки

Розглядається методика прогнозування стану парку зенітних ракетних комплексів (ЗРК) у середньостроковій та довгостроковій перспективах у складі Повітряних Сил Збройних Сил України. В основі цієї методики покладена модель залежності кількості боєготових ЗРК від календарної тривалості експлуатації, що враховує початковий розподіл ЗРК за роками виготовлення, обрану стратегію експлуатації і ремонту ЗРК та інші фактори.

Ключові слова: методика прогнозування стану парку ЗРК, модель зміни кількості боєготових ЗРК, післяремонтний термін служби, граничний термін служби.

Рассматривается методика прогнозирования состояния парка зенитных ракетных комплексов (ЗРК) в среднесрочной и долгосрочной перспективах в составе Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины. В основу этой методики положена модель изменения количества боеготовых ЗРК в зависимости от календарной продолжительности эксплуатации, которая учитывает начальное распределение ЗРК по годам изготовления, выбранную стратегию эксплуатации и ремонта ЗРК и другие факторы.

Ключевые слова: методика прогнозирования состояния парка зенитных ракетных комплексов, послеремонтный срок службы, предельный срок службы.

Для формування пропозицій у державну програму розвитку озброєнь Збройних Сил (ЗС) України необхідна методика, що дозволяє оцінювати стан парку озброєння і військової техніки (ОВТ) ЗС України, зокрема стан парку зенітних ракетних комплексів (ЗРК) у Повітряних Силах ЗС України, при різних варіантах застосування регламентованої стратегії експлуатації і ремонту (далі – регламентована стратегія) або стратегії експлуатації і ремонту за технічним станом (далі – стратегія експлуатації за станом) або їх комбінації та інших факторів, які істотно впливають на стан парку ЗРК. Вирішення цієї задачі є актуальним у зв'язку з необхідністю обґрунтування основних параметрів розвитку ОВТ ЗС України на середньострокову та довгострокову перспективи.

У науково-технічній літературі питанням прогнозування стану ОВТ присвячені публікації [1, 2, 3] тощо. Зокрема, цим питанням присвячена спеціальна методика, розглянута в [1], яка дозволяє оцінити наявність і технічний стан зразків ОВТ при різних варіантах розподілу коштів на розвиток системи озброєння. Особливістю цієї методики є те, що вона розрахована на зразки ОВТ масового виробництва, при цьому розподіл парку зразків ОВТ задається в інтервальному вигляді з дискретністю у десять років, розподіл зразків ОВТ на кожному інтервалі поданий випадковою величиною з рівномірним законом розподілу, а відмінності в темпах списання виробів різної тривалості експлуатації виявляються у вигляді відповідних відсотків списання парку виробів з урахуванням їх розподілу за інтервалами експлуатації. Застосування цієї методики для оцінки стану парку ЗРК є неприйнятним, тому що ЗРК, які знаходяться на озброєнні Повітряних Сил ЗС України, не є виробами масового виробництва, завдання початкового розподілу парку ЗРК в інтервальному вигляді та інші припущення знижують достовірність прогнозування стану парку ЗРК.

Для вирішення задачі прогнозування необхідно також знання граничних термінів служби ЗРК. У статті [2] розглядаються методичні положення щодо визначення граничного терміну служби зразка озброєння. Положення цієї статті в цілому можна використовувати для оцінки граничних термінів служби зразків ОВТ, але її неможливо застосовувати для оцінки стану і динаміки парку виробів конкретного типу в залежності від календарної тривалості їх експлуатації.

Таким чином, на даний час існують методики прогнозування стану зразків ОВТ, які орієнтовані на зразки ОВТ масового виробництва і не розраховані на зразки ОВТ, що знаходяться в обмеженій кількості на озброєнні Повітряних Сил Збройних Сил України. У зв'язку з цим необхідна розробка методичного апарату або спеціальних методик, що дозволяють прогнозувати стан парку ОВТ малосерійного та середньосерійного виробництва на середньострокову та довгострокову перспективи для вирішення задачі обґрунтування основних параметрів розвитку ОВТ ЗС України (зокрема, ЗРК).

Мета статті – розробка методики прогнозування стану парку ЗРК у складі Повітряних Сил Збройних Сил України на середньострокову та довгострокову перспективи для розробки початкових даних при формуванні програми розвитку ОВТ Збройних Сил України.

Методика прогнозування стану парку ЗРК у складі Повітряних Сил Збройних Сил України на середньострокову та довгострокову перспективи (далі – методика) містить такі етапи:

формування початкових даних, які включають дати виготовлення ЗРК, доремонтний, міжремонтний та післяремонтний терміни служби, продуктивність ремонтного підприємства, стратегію експлуатації і ремонту (підтримання парку ЗРК у боеготовому стані), граничний термін служби та ін.;

оцінка початкового розподілу парку ЗРК за календарною тривалістю експлуатації;

прогнозування зміни кількості боеготових ЗРК у залежності від календарної тривалості експлуатації з використанням моделі залежності кількості боеготових ЗРК від календарної тривалості експлуатації;

прогнозування потреб у ремонті і технічному обслуговуванні ЗРК.

В основу методики покладена модель зміни кількості боеготових ЗРК у залежності від календарної тривалості експлуатації. При цьому під боеготовими ЗРК будемо розуміти працездатні ЗРК, що мають запас встановленого терміну служби (ресурсу) не менше одного року. Кількість боеготових ЗРК j -го типу в i -й рік експлуатації $N_{БГij}$ розраховується за співвідношенням

$$N_{БГij} = N_{ЗРКij} - N_{дор.ij} + N_{рем.ij} - N_{НБГij} \quad (1)$$

де $N_{дор.ij}$ – кількість ЗРК, в яких у i -му році закінчився встановлений доремонтний термін служби; $N_{рем.ij}$ – сумарна кількість відремонтованих ЗРК на i -й рік експлуатації; $N_{НБГij}$ – сумарна кількість відремонтованих ЗРК, в яких закінчився запас встановленого міжремонтного, післяремонтного або прогнозованого терміну служби (при стратегії експлуатації за станом) на i -й рік експлуатації; $N_{ЗРКij}$ – кількість ЗРК, в яких не настав граничний термін служби в i -му році, що, у свою чергу, розраховується за співвідношенням

$$N_{ЗРКij} = N_{ЗРКj} - N_{ГТij}, \quad (2)$$

де $N_{ЗРКj}$ – загальна кількість ЗРК, що входять до складу ПС ЗС України; $N_{ГТij}$ – кількість ЗРК, в яких у i -му році настав граничний термін служби.

В основу цієї моделі покладений принцип окремого підрахунку її складових: $N_{ЗРКij}$, $N_{ГТij}$, $N_{дор.ij}$, $N_{рем.ij}$, $N_{НБГij}$ – та подальшого розрахунку з їх використанням кількості боеготових ЗРК $N_{БГij}$. За результатами моделювання отримуються часткові залежності кількості боеготових ЗРК $N_{БГij}$, відремонтованих ЗРК $N_{рем.ij}$ (зростаючим підсумком), відремонтованих ЗРК, в яких закінчився

міжремонтний, післяремонтний або прогнозований термін служби, $N_{НБГij}$ (зростаючим підсумком), загальної кількості ЗРК, в яких не настав граничний термін служби $N_{ЗРКij}$, у залежності від календарної тривалості експлуатації ЗРК. Ці залежності відображаються у вигляді стовпчастих діаграм.

Модель враховує основні фактори, що істотно впливають на зміну кількості боеготових ЗРК. Такими факторами є:

прийнята стратегія експлуатації та ремонту ЗРК та її параметри (граничний термін служби ЗРК, параметри підсистеми ремонту ЗРК);

початковий розподіл парку ЗРК за календарною тривалістю експлуатації;

дата початку проведення ремонтів із заданою продуктивністю ремонтного підприємства;

дата проведення останнього ремонту до початку проведення ремонтів із заданою продуктивністю.

При прогнозуванні зміни кількості боеготових ЗРК може бути визначена одна з стратегій: регламентована, експлуатації за станом або їх комбінація. При регламентованій стратегії величини доремонтного, міжремонтного або післяремонтного терміну служби ЗРК є такими, що встановлюються, а при стратегії експлуатації за станом ці величини є прогнозованими.

Під граничним терміном служби в цієї статті будемо розуміти розрахунково-нормативний термін експлуатації з моменту введення ЗРК в експлуатацію до його списання. Граничний термін служби ЗРК може бути встановлений за результатами досліджень або експертних оцінок [2].

Система експлуатації і ремонту ЗРК характеризується такими параметрами:

величинами встановлених доремонтного, міжремонтного та післяремонтного термінів служби ЗРК при регламентованій стратегії або відповідних прогнозованих термінів служби ЗРК при стратегії експлуатації за станом;

продуктивністю ремонтного виробництва (кількістю відремонтованих ЗРК на рік);

тривалістю циклу ремонту;

кількістю ЗРК, що можуть одночасно знаходитися в ремонті (за можливостями системи ремонту);

кількістю ЗРК, що можуть одночасно виводитися з експлуатації та знаходитися в ремонті (за можливостями системи експлуатації і ремонту).

Блок-схема алгоритму розрахунку залежності кількості боеготових ЗРК та інших часткових залежностей показана на рис. 1. Моделювання здійснюється в програмному середовищі «Excel». Результати моделювання наведені у вигляді стовпчастих діаграм на рис. 2, 3.

На рис. 2 зображені діаграми залежностей при регламентованій стратегії, а на рис. 3 – при стратегії експлуатації за станом.

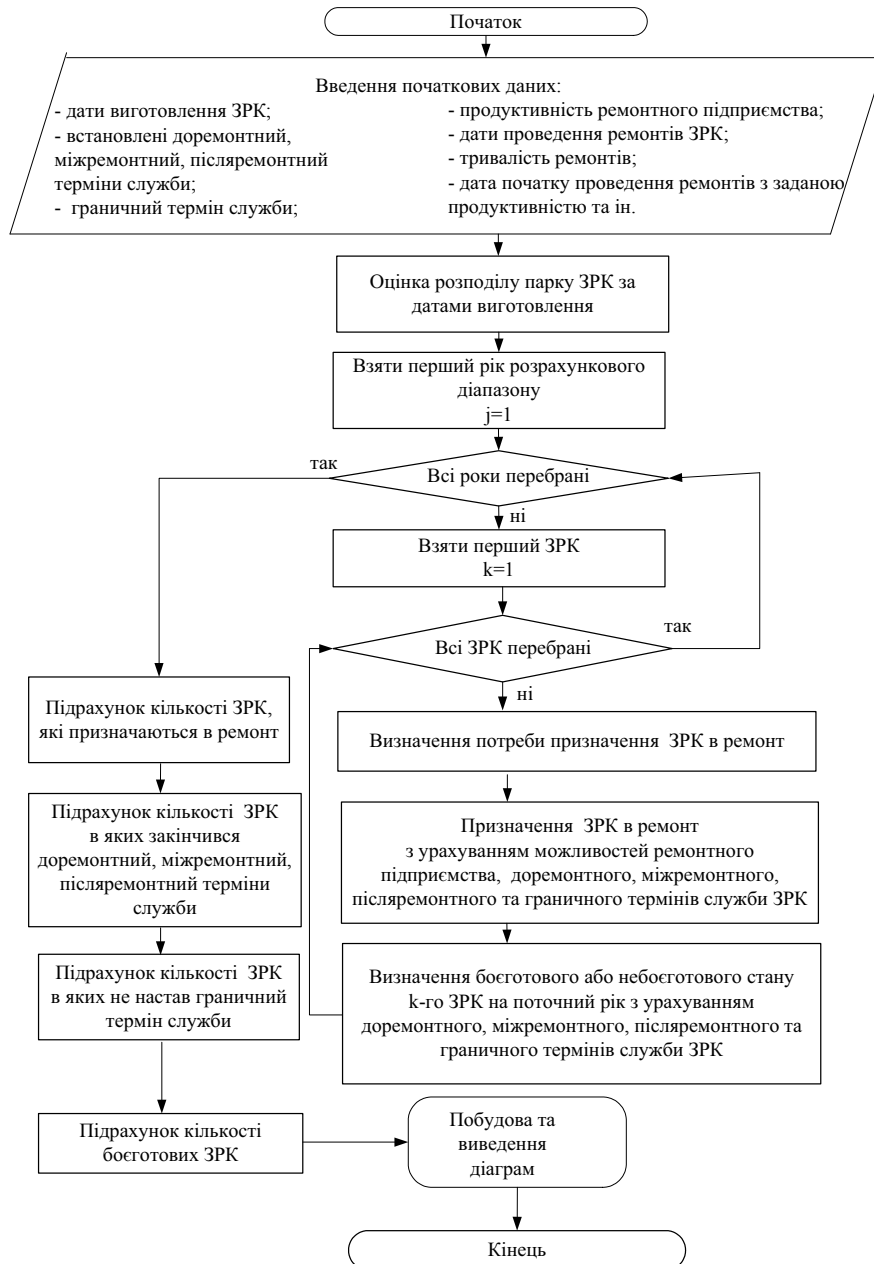


Рис. 1. Блок-схема алгоритму розрахунку залежності кількості боєготових ЗРК та інших часткових залежностей кількості ЗРК від календарної тривалості експлуатації

Для розрахунків, для прикладу, обрані такі довільні початкові дані:

парк ЗРК j-го типу складає 40 одиниць, розподіл яких за роками виготовлення наведений у табл. 1;

Таблиця 1. Розподіл ЗРК за роками виготовлення

Рік випуску	1992	1991	1990	1989	1987	1986	1985
Кількість ЗРК	6	4	9	7	6	5	3

термін служби до ремонту ЗРК – 20 років;
до 2016 року були відремонтовані з встановленим післяремонтним терміном служби 5 років ЗРК у кількості:

а) у 2012 році – 2 ЗРК 1985 року виготовлення;
б) у 2013 році – 2 ЗРК 1987 року виготовлення;
в) у 2014 році – 2 ЗРК 1990 року виготовлення;
г) у 2015 році – 1 ЗРК 1991 року виготовлення;
з 2016 року починається ремонт ЗРК з продуктивністю ремонтного підприємства 3 ЗРК на рік;
при регламентованій системі встановлений післяремонтний термін служби ЗРК складає 5 років;
при стратегії експлуатації за станом прогнозований післяремонтний термін служби ЗРК за експертними оцінками складає 7 років;
граничний термін служби ЗРК за експертними оцінками складає 35 років;
ЗРК призначається в ремонт, якщо залишковий термін служби (ресурс) після закінчення ремонту буде

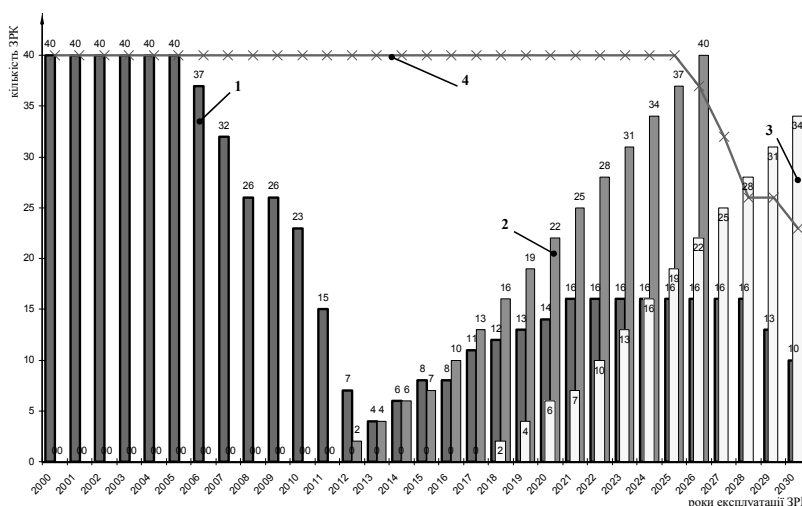


Рис. 2. Діаграми залежності кількості ЗРК від календарної тривалості експлуатації при заданому розподілі ЗРК (табл. 1), варіанті регламентованої стратегії з продуктивністю ремонтного підприємства 3 ЗРК на рік та міжремонтним терміном служби 5 років:

1 – боеготових, 2 – відремонтованих (зростаючим підсумком), 3 – відремонтованих, в яких закінчився міжремонтний або післяремонтний термін служби (зростаючим підсумком), 4 – загальної кількості, в яких не настав граничний термін служби)

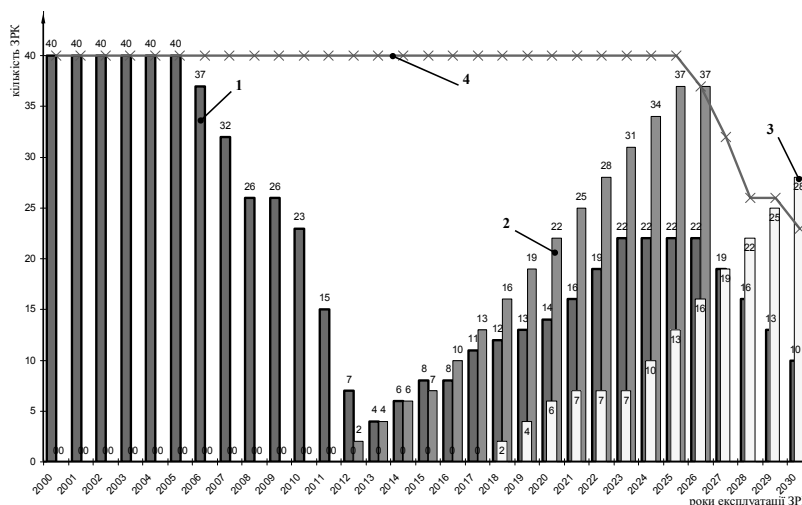


Рис. 3. Діаграми залежностей кількості ЗРК від календарної тривалості експлуатації при заданому розподілі ЗРК (табл. 1), варіанті стратегії експлуатації за станом з продуктивністю ремонтного підприємства 3 ЗРК на рік та післяремонтним терміном служби 7 років:

1 – боеготових, 2 – відремонтованих (зростаючим підсумком), 3 – відремонтованих, в яких закінчився міжремонтний або післяремонтний термін служби (зростаючим підсумком), 4 – загальної кількості, в яких не настав граничний термін служби)

не менше післяремонтного встановленого терміну служби при регламентованій стратегії (5 років) або прогнозованого післяремонтного терміну служби при стратегії експлуатації за станом (7 років);

головне ремонтне підприємство має достатній рівень забезпеченості виробничими площами, технологічним обладнанням та засобами енергозабезпечення;

в наявності є комплекти ремонтної документації на заданий вид ремонту та ремонтні комплекти ЗІП;

кількість кваліфікованого ремонтного персоналу є достатньою.

З наведених діаграм залежностей, що побудовані у відповідності до початкових даних, які наведені вище, можна зробити висновок, що кількість боеготових ЗРК значно залежить від обраної стратегії експлуатації і

ремонту та продуктивності ремонтного підприємства. Так, при продуктивності ремонтного підприємства 3 ЗРК на рік та регламентованій стратегії кількість боеготових ЗРК на 2023 рік складе 16 одиниць, а при стратегії експлуатації за станом – 22 одиниці.

З отриманих результатів досліджень випливає, що модель зміни кількості боеготових ЗРК дозволяє оцінювати і прогнозувати кількість боеготових ЗРК у залежності від календарної тривалості експлуатації з урахуванням таких основних факторів, як прийнята стратегія експлуатації та ремонту ЗРК та її параметри (характеристики): граничний термін служби ЗРК, параметри підсистеми ремонту ЗРК, початковий розподіл парку ЗРК за тривалістю експлуатації. Розроблена модель враховує всі попередні проведені ремонти ЗРК, що могли

бути виконані на окремих ЗРК, з різними післяремонтними термінами служби, а також циклічні ремонти із заданою продуктивністю ремонтного підприємства, які починаються з довільно встановленої дати.

Таким чином, розроблена методика прогнозування стану парку ЗРК дозволяє більш ефективно та достовірно прогнозувати стан парку ЗРК, а також виявляти причини зміни кількості боєготових ЗРК. Ця методика може бути застосована для інших зразків ОВТ малосерійного та середньосерійного виробництва.

Висновки. Методика прогнозування стану парку зенітних ракетних комплексів у Повітряних Силах Збройних Сил України, що запропонована, має універсальний характер і призначена для прогнозування динаміки кількісного стану парку зразків ОВТ малосерійного та середньосерійного виробництва. В основу цієї методики покладена модель зміни кількості боєготових ЗРК у залежності від календарної тривалості експлуатації, що враховує такі основні фактори, як прийнята стратегія експлуатації та ремонту ЗРК та її параметри (характеристики), початковий розподіл парку ЗРК за тривалістю експлуатації. Методика дозволяє підвищити достовірність прогнозування та здійснювати перевірку і коректування прогнозів динаміки стану парку зразків ОВТ в рамках розробки вихідних даних для формування пропозицій до державної програми розвитку озброєнь.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Буренок, В. М. Техническое оснащение Вооруженных Сил Российской Федерации: организационные, экономические и методологические аспекты [Текст] / В. М. Буренок, А. А. Косенко, Г. А. Лавринов. – М. : ИД «Граница», 2007. – 728 с.
2. Подольский, А. Г. Методический аппарат определения горизонта жизненного цикла образца вооружения и военной техники / А. Г. Подольский // Вооружение и экономика. – 2009. – № 1 (5) [Электронный ресурс]. – Электрон. журн. – Режим доступа: <http://www.mil.ru/info/1070/51205/index.shtml>.
3. Гриб, Д. А. О методических подходах к оценке эффективности и качества образцов (комплексов, систем) вооружения и военной техники при обосновании перспектив его развития [Текст] / Д. А. Гриб, Б. Н. Ланецкий, А. Б. Леонтьев, В. В. Лукьянчук // Системы управления, навигации та зв'язку. – Вип. 3 (15). – Х. : ХУПС, 2010. – С. 182–186.

Рецензент О. Б. Леонтьєв, д-р техн. наук, проф. (науковий центр Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба)

УДК 621.396.963.8

Г. Г. КАМАЛТИНОВ, кандидат технічних наук,**С. В. КУКОБКО**, кандидат технічних наук,**О. С. МАЛЯРЕНКО**, кандидат технічних наук

(Науковий центр Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків),

П. І. КІСЕЛЬ, кандидат технічних наук

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

Впізнавання об'єктів на полі бою. Аналіз світового досвіду

Проведено аналіз сучасних способів і засобів упізнавання об'єктів на полі бою за напрямками (лініями) "земля – земля" та "літак – земля" з використанням відомостей автоматичної радіопередачі даних про свої війська та апаратури впізнавання цілей на полі бою за принципом "запит-відповідь", яким приділяється найбільша увага у світі. Розглядаються принципи побудови та функціонування засобів упізнавання на полі бою, їх тактико-технічні характеристики. Висвітлено досвід промисловості України з розробки засобів упізнавання на полі бою.

Проведен анализ современных систем и средств опознавания объектов на поле боя в линиях "земля – земля" и "самолет – земля" по информации автоматической радиопередачи данных о своих войсках с помощью радиометок и аппаратурой опознавания целей на поле боя по принципу "запрос-ответ", которым уделяется наибольшее внимание в мире. Рассматриваются принципы построения и функционирования систем и средств опознавания на поле боя, их достигнутые тактико-технические характеристики. Освещен опыт промышленности Украины в разработке средств опознавания на поле боя.

З ростом значимості дій у сучасних війнах окремих зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) і суб'єктів збройної боротьби проблемними стають питання їх взаємного впізнавання на полі бою. Створені в останні десятиліття системи радіолокаційного впізнавання повітряних і надводних об'єктів (Мк ХА, Мк ХІІ, «Пароль») успішно застосовуються за призначенням [1–6], але вони не забезпечують вирішення задач впізнавання на полі бою. Впізнавання на полі бою має визначати насамперед приналежність об'єктів у напрямках (лініях): «земля – земля» та «літак – земля». Вважається за доцільне на підставі аналізу наявного досвіду зі створення та застосування засобів упізнавання на полі бою в провідних країнах світу визначити раціональні напрями реалізації аналогічної за призначенням вітчизняної системи..

Питанням обґрунтування необхідності створення засобів упізнавання на полі бою, аналізу результатів створення та випробувань систем та засобів упізнавання військ (сил), зразків ОВТ і навіть окремого солдата, у тому числі використання цих засобів у складі перспективних комплектів індивідуального оснащення військовослужбовців присвячено ряд публікацій, наприклад, [1–6]. Проведено систематизація та аналіз сучасних поглядів і досягнень щодо напрямів розвитку способів і засобів упізнавання на полі бою.

Загальні проблеми взаємного впізнавання наземних та повітряних сил і засобів. Випадки так званого «дружнього вогню» – завдання ударів по своїх або союзницьких силах, ударів по так званій «нейтральній стороні» (цивільному населенню) – траплялися в усіх війнах, у тому числі в локальних останніх десятиліть. За даними керівництва армії США, під час операції «Буря в пустелі» із знищених 20 БМП і 9 танків були обстріляні «своїми» 17 БМП і 7 танків [1, 2]. Під час вводу військ в Грузію в 2008 році російські штурмовики обстрілювали свої (російські) наземні колони, а останні стріляли у відповідь [2]. Зі зміною характеру війн та розвитком озброєння (підвищенням дальності застосування) спостерігається зростання відносної кількості втрат від «дружнього вогню». Якщо такі втрати в першу та другу світові війни складали від 10% до 15%, то у війні в Іраку – до 80% [3]. Необхідно зазначити, що у світових війнах сили протиборчих сторін були приблизно рівними, війна в Іраку – війна сильного проти слабого, тому така велика частина втрат сильного від «дружнього вогню».

Крім втрат від так званого «братовбивства» (Fratricide) та загибелі цивільного населення (Neutricide) канадські експерти додають ще втрати від «чужих» через їх неправильне впізнавання і помилкове віднесення до «своїх». Як наслідки всіх помилок у [3] відзначають:

- втрати та uszkodження ОВТ;
- перевитрату часу, зусиль і боєприпасів;
- падіння згуртованості та бойового духу військ;
- втрату довіри до вищого військового керівництва;
- падіння ефективності дій підрозділів аж до зриву операцій;
- надмірну обережність або надмірний ризик;

зростання невпевненості та втрату ініціативи командирів;

сумніви щодо проведення операції в умовах обмеженої видимості;

втрату прихильності цивільного населення;

політичні наслідки невдач.

Усі випадки «дружнього вогню» були обумовлені відсутністю надійного взаємного впізнавання військ, що й досі залишається проблемою для збройних формувань країн світу [1–5]. У зв'язку з ростом застосування і небезпечності тактичних БпЛА останнім часом усе більше фахівців вважають за необхідне організацію такої лінії впізнавання «земля – БпЛА».

На нашу думку, серед основних причин проблем надійного впізнавання наземних і повітряних сил (об'єктів) на полі бою слід назвати:

а) перевищення дистанції застосування сучасної зброї дальності візуального впізнавання, у тому числі з використанням оптичних засобів;

б) відсутність технічних всепогодних засобів упізнавання, які б забезпечували надійне впізнавання на відстанях, що перевищують дальності застосування зброї, в будь-який час доби (основна причина);

в) схожість зовнішніх обрисів однотипних ОБТ протидіючих сторін, що ускладнює (унеможлиблює) їх впізнавання, особливо в умовах ретельного маскуванню ОБТ на місцевості, штучного викривлення контрастності сигнатур та дефіциту часу для впізнавання;

г) дані оповіщення про розташування та дії наземних і повітряних сил швидко застарівають, а також можуть стати недоступними для розвідки противної сторони;

д) переговори під час упізнавання із застосуванням засобів радіозв'язку потребують багато часу, дані переговорів можуть стати недоступними засобом радіо- та радіотехнічної розвідки, до того ж наземні й повітряні сили не завжди оснащені сумісними засобами зв'язку;

е) використання вогнів, кольорових димів та інших подібних засобів позначення «своїх» демаскує і вони легко піддаються відтворенню противною стороною;

ж) використання інфрачервоних маркерів (світлодіодів, ліхтарів, прожекторів, позначення спеціальною фарбою, що відбиває інфрачервоне опромінювання), інфрачервоного електронно-оптичного обладнання ефективно лише вночі;

з) людський фактор – помилкові дії (особливо в стресовій ситуації), недисциплінованість, недостатня навченість тощо.

Очевидно, що наведена вище багатфакторність проблем упізнавання на полі бою утруднює визначення та аналіз можливих напрямів формування відповідної досконалої системи для Збройних Сил України.

Сучасні напрями розвитку способів і засобів упізнавання на полі бою. Після війни в Іраку активізувались роботи щодо розробки та (або) впровадження систем взаємного впізнавання на полі бою. Наприклад, у США почали створювати Battlefield Combat Identification System (BCIS). У багатьох країнах на державному рівні створені програми розвитку таких систем та організаційні структури, що відповідають за реалізацію

програм. Випускається щорічний бюлетень [6], у якому військові фахівці та представники промисловості повідомляють про досягнуті напрацювання, основний зміст та хід виконання відповідних програм, можливості перспективних засобів та їх окремих складових, результати розробок зразків та їх випробувань.

Серед численних способів (і засобів) упізнавання найбільш ефективними вважаються такі:

впізнавання, що базується на засобах автоматичної радіопередачі даних про свої війська (Radio Based Combat Identification – RBCI);

впізнавання за допомогою радіоміток (Radio Frequency Identification tags – RF tags);

впізнавання цілей на полі бою (Battlefield Target Identification Device – BTID).

Розглянемо означені системи.

Система RBCI, яку ще називають Battlefield Force Tracking System (BFTS), або Blu-Force Tracking (BFT) System, будується на мережецентричних принципах. У RBCI дані про місцезнаходження наземних сил, що отримуються за допомогою системи GPS, передаються самими об'єктами (силами) з дискретністю 5 хв через засоби супутникового зв'язку або в мережі УКХ зв'язку зацікавленим споживачам, у тому числі літакам штурмової авіації, артилерійським пунктам управління, іншим вогневим засобам [2, 4, 6], рис. 1.

В активному режимі радіостанція-запитувач передає від комп'ютера координати області, в якій виявлені війська або ОБТ, і вимогу щодо позначення себе. Об'єкти, що знаходяться у цій області, порівнюють координатну інформацію в запиті зі своїм положенням і радіостанція-відповідач передає свої точні координати та ознаку належності до «своїх». Обмін здійснюється в закритих каналах зв'язку [9].

Координати об'єкта впізнавання (дистанція, напрямок) можуть визначатися, наприклад, за допомогою лазерного далекоміра, їх обчисленням на основі одержаних за допомогою GPS даних тощо.

Суттєвою перевагою системи RBCI над іншими є відсутність необхідності прямої видимості між «стріляючим» і об'єктом впізнавання. Літаки, кораблі (як на рис. 1) або ракетно-артилерійські системи перед стрільбою (по закритих цілях, площах) мають можливість перевірки відсутності серед цілей «своїх». Система зберігає функціональну стійкість у русі та при розсіюванні мобільних сил на місцевості.

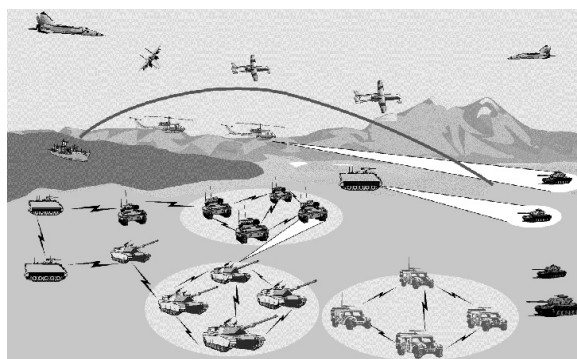


Рис. 1. Принцип впізнавання на полі бою в системі RBCI

До недоліків RBCI відносять:

необхідність облаштування складного в геофізичному відношенні театру бойових дій ретрансляторами сигналів зв'язку;

старіння даних за умов швидкого переміщення об'єктів;

система функціонує в повному обсязі при відсутності радіоелектронної протидії засобам зв'язку та приймачам сигналів GPS;

реалізація системи потребує застосування засобів автоматичного зв'язку з криптографічним захистом каналів, комп'ютерного обладнання та спеціального програмного забезпечення керування, обробки та подання результатів упізнання.

Слід зазначити, що система BFT успішно використовувалася коаліцією союзних військ під час проведення воєнної операції "Буря в пустелі". Для цього США надали "синім" (силам коаліції) обладнання впізнання для оснащення більш ніж 2000 одиниць техніки.

Упізнання за допомогою радіоміток або радіомаркерів (RF tags) побудовано за такими ж принципами, що й застосування поширених радіоміток (маркерів), що використовують для контролю переміщення транспортних засобів або товарів, доступу персоналу в приміщення (електронні перепустки), пропуску пасажирів у метро. У військовій справі мітки забезпечують впізнання ОБТ та людини. Упізнання базується на запиті-відповіді. Мітка, що містить антену та мікросхему, приймає сигнал запиту і відповідає встановленим кодом, який може нести різноманітну інформацію. Існують пасивні, напівактивні та активні мітки.

Пасивні мітки живляться енергією, що випромінює запитувач. Відповідь формується шляхом модуляції відбитого сигналу запиту. Активні мітки мають власне джерело живлення, можуть генерувати сигнали відповіді більшої потужності, ніж пасивні, забезпечують значно більшу дальність дії, в тому числі за умов екранування лінії впізнання людиною, рослинністю, спорудами, металевими конструкціями тощо.

Напівактивні мітки за принципом дії аналогічні пасивним, але мають батарею живлення. Їх дальність дії обмежена лише еквівалентною чутливістю приймального пристрою запитувача.

Мітки загального призначення функціонують в діапазонах радіохвиль L (860...960 МГц) та S (2,4...2,5 ГГц). Дальність упізнання міток загального призначення в залежності від конкретного призначення, типу та діапазону радіохвиль складає від 30 см до 300 м. На навчаннях НАТО «Operation Urgent Quest» була перевірена можливість застосування міток, що запитувались сигналами літакового радіолокатора в 3-сантиметровому діапазоні. Активні мітки, що жилились чотирма стандартними батарейками типу AA, спостерігались на дальностях понад 40 км. Радіомітки розглядаються як єдиний засіб упізнання людини, малочисельних підрозділів. При цьому слід пам'ятати, що існують об'єктивні обмеження щодо завадозахищеності радіоміток.

При використанні активних міток та їх запитувачів для впізнання окремих зразків ОБТ вони фактично

повинні відтворювати аналогічне обладнання систем BTID.

Українським аналогом радіоміток упізнання є аварійний відповідач «Муссон-502», що визначає місцезнаходження об'єктів, які терплять лихо. Відповідач випромінює сигнал при прийманні зондувального сигналу РЛС 3-сантиметрового діапазону [10]. Сигнал відповіді – імпульс тривалістю 100 мкс з 12 періодами частотної модуляції в діапазоні $(9200...9500) \pm 60$ МГц. На екрані РЛС сигнал відповідача відображається у вигляді серії дуг або пунктирної лінії, що виходить з точки місцезнаходження об'єкта. Дальність виявлення об'єкта з відповідачем літаковими РЛС з висоти 1 км – 55,6 км. Маса відповідача з кронштейном для кріплення – 1,7 кг.

Найбільш поширеними в теперішній час є **системи BTID**, що призначені для впізнання ОБТ у форматі «друг-невідомий». Сутність його не відрізняється від загального впізнання системи IFF (Identification Friend or Foe – упізнання "друг-ворог") Mk XII. Термін "друг-невідомий" був введений у військову практику з оглядом на те, що об'єкт упізнання, який не відповідає на запит, не обов'язково є ворожим об'єктом.

BTID є подальшим вдосконаленням системи BCIS [11]. Вимоги до апаратури BTID були визначені за стандартом STANAG 4579 [12], що був прийнятий в 2001 році. Система BTID побудована за принципом «запит-відповідь». Запит може здійснюватися в X-діапазоні (коротка частина сантиметрового діапазону – 2...3 см), або в міліметровому (Ka-діапазоні), а також в оптичному діапазоні (лазерним пристроєм). Відповідь випромінюється в міліметровому, сантиметровому діапазоні або в дециметровому – на частоті відповіді системи Mk XII. Для забезпечення імітостійкості впізнання формування та обробка сигналів можуть здійснюватись з використанням криптографічного обладнання. В інтересах прихованості (низької імовірності перехоплення і виявлення – Low Probability of Intercept and Low Probability of Detection) використовуються сигнали з широким спектром.

Конструктивно апаратура виконується окремими блоками для забезпечення багатоваріантності розміщення системи. Вогневі засоби (танки, ударні вертольоти, штурмовики і т. д.) обладнуються запитувачами або запитувачами-відповідачами. Інша військова техніка обладнується відповідачами. Апаратура впізнання функціонально пов'язується з апаратурою керування вогнем або із загальносистемним комп'ютерним обладнанням [8, 9, 11]. У деяких країнах апаратура BTID інтегрується з лазерними пристроями впізнання окремого солдата – Dismounted Soldier Identification Device (DSID).

Антену запитувача може бути жорстко прив'язано до напрямку ствола (прицілу) або рухатись автономно, що дозволяє впізнавати об'єкти, які виявлені поза напрямком (сектором) прицілювання. Вмикання впізнання здійснюється автоматично центральною апаратурою керування або (наприклад, на танках) органом вмикання лазерного далекоміра, або вручну оператором (стрільцем).

Прикладом реалізації BTID є комплекти апаратури запитувач-відповідач AN/VSX-4 (рис. 2) та відповідач AN/VSC-9 виробництва США.



Рис. 2. Встановлення запитувача-відповідача AN/VSX-4 на танку M-1 «Abrams»



Рис. 3. Встановлення підвісного контейнера апаратури BTID компанії «Raytheon» на літаку F/A-18

Система BTID створювалась для зниження ризику ураження своїх сил, у тому числі в несприятливих умовах навколишнього середовища [11]. Впізнання (запит і відповідь) здійснюється на частоті 38 ГГц. Дальність упізнання – до 5500 м в лінії «земля – земля» і до 8000 м в лінії «повітря – земля». Сигнали запиту випромінюються в секторі $\pm 1,3^\circ$. Результат упізнання виводиться на приціл. Відповідач «обслуговує» простір 360° по азимуту, від мінус 10° до 45° по куту місця.

Імітостійкість забезпечується криптоалгоритмом. Для введення ключів використовується пристрій AN/CYZ-10 (C) (один на батальйон). Ключові елементи зберігаються в батальйонній або бригадній ланці.

Компанії «Raytheon» (США) і «Thales» (Франція) розробили і перевірили свою апаратуру BTID в лінії «повітря – земля» для впізнання наземних сил. Під час навчань «Operation Bold Quest» (рис. 3) було показано ефективне розділення «своїх» і «чужих» об'єктів за допомогою системи в умовах інтенсивної забудови, поганої погоди і малої видимості. Під час навчань НАТО «Operation Urgent Quest» бортова апаратура BTID, що була встановлена на літаку «Harrier», забезпечила впізнання наземних об'єктів на дальностях до 20 км.

Іспанія стала четвертою державою після США, Великобританії та Франції, які мають власні системи впізнання на полі бою [13]. Іспанська фірма «Indra» почала розробку апаратури BTID у 2003 році в рамках програми AMIGOS (Advanced Military Identification

for Ground Operational Systems) і після успішних випробувань у 2008 році на власному полігоні провела в 2011 році також випробування на сумісність з апаратурою інших країн на багатонаціональних навчаннях «Bold Quest 11». На рис. 4, а показаний комплект іспанської апаратури (збільшено – панель керування та індикації), на рис. 4, б – встановлення відповідача на автомобілі (демонстраційний варіант).

Слід звернути увагу, що в Україні ще наприкінці 80-х – початку 90-х років минулого століття була проведена розробка засобів упізнання на полі бою (Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут, ДКР «Анчар»), що за принципами побудови та застосування можна віднести до апаратури типу BTID. У каналі запиту використовувався міліметровий діапазон радіохвиль, у каналі відповіді – VII діапазон системи «Пароль». Дослідні зразки основних складових виробу «Анчар» були виготовлені й випробувані, але ДКР завершити не вдалося.

Перевагою системи BTID з використанням принципів побудови виробу «Анчар» (відповідь у VII діапазоні) є те, що за умови доповнення його приймачем та декодером VII діапазону він може одночасно замінити відповідач типу 1Л26. Тим самим додатково буде забезпечено упізнання в лінії «літак – земля» існуючими літаковими запитувачами системи «Пароль» 6231, якими оснащуються штурмовики та бомбардувальники Повітряних Сил України.



Рис. 4. Апаратура BTID фірми «Indra»

Відзначимо спроби застосування елементів існуючої системи радіолокаційного впізнання, що в англомовній літературі позначають IFF, в лінії “літак – земля” для впізнання наземних об’єктів. У системі радіолокаційного впізнання НАТО Mk XA (Mk XII) відсутні режими або спеціальні сигнали (коди) упізнання наземних об’єктів, як в системі “Пароль” [14]. Режими або сигнали окремого впізнання надводних об’єктів теж відсутні, однак встановлення запитувачів і відповідачів на надводних об’єктах здійснюється [15]. Розміщення відповідачів Mk XA (Mk XII) на наземних об’єктах не передбачалось стандартами [14, 15] і практично не здійснювалось, хоча в огляді [3] згадуються спроби США помічати свої наземні сили у В’єтнамі за допомогою відповідачів Mk XA. Французька фірма «Thales» у розвиток цієї теми розробила систему “Phoenix-2”, що позначила як реверсну версію літакової апаратури Mk XA [16]. На штурмовиках розміщуються запитувачі, на наземних об’єктах – відповідачі. Апаратура спряжена з оглядово-прицілним комплексом і навігаційною системою літака. Запитувач має також вихід на систему BFT. Результати навчань показали прийнятність такого рішення.

Нагадаємо ще раз, що в системі “Пароль” передбачені лінії впізнання “літак – земля” та “корабель – земля” з використанням спеціальних кодів у I та III режимах VII діапазону [7]. У військах, однак, відсутні наземні відповідачі типу 1J26, що не дозволяє реалізувати наявні можливості системи.

Висновки:

1. Серед відомих варіантів побудови систем впізнання об’єктів на полі бою найбільш поширеними і ефективними є системи типу BTID. Вони розбудовуються у відповідності до вимог сучасних міждержавних регламентів (STANAG) з використанням перспективних радіоелектронних пристроїв сантиметрового й міліметрового діапазонів радіохвиль – в каналі запиту, та міліметрового, сантиметрового й дециметрового діапазонів – в каналі відповіді, ширококутових радіосигналів, криптографічного обладнання та спеціальних засобів оброблення й візуалізації отриманої інформації.

2. За результатами аналізу світового досвіду створення систем BTID Україна свого часу випереджала в цьому напрямі майже всі країни світу. Сучасний рівень розвитку вітчизняної спеціальної радіоелектроніки можна вважати достатнім для державної підтримки розробки національної системи впізнання на полі бою. Найбільш раціональним вбачається шлях розроблення такої системи спільно з однією з країн – членів НАТО.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Политов, И. Системы опознавания «свой-чужой» ОБТ «Абрамс» и БМП «Брэдли» [Текст] / И. Политов // Зарубежное военное обозрение. – 2001. – № 7.
2. Антонец, Г. Г. Как искоренить «дружественный огонь» [Текст] / Г. Г. Антонец, А. Г. Куликов // Воздушно-космическая оборона. – 18.02.2011.
3. David J. Bryant, David G. Smith Comparison of Identify-Friend-Foe and Blue-Force Tracking Decision Support for Combat Identification: Technical Report. – Toronto: Defence R&D Canada, 2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a538388.pdf>.
4. Опознавание объектов на поле боя [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dogswar.ru/armii-mira/vooryjenie/592-opoznavanie-obektov-na-pole-bo.html>.
5. Как защищаются от «дружественного огня»? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.popmech.ru/weapon/15054-zashchita-ot-druzey/#full>.
6. Combat Identification Bulletin «Working Together to Prevent Friendly Fire», January 2004. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.globalsecurity.org/military/library/report/2004/040100btid.pdf>.
7. Маляренко, А. С. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного радиолокационного опознавания [Текст] : справ. / А. С. Маляренко. – Харьков: ХУВС, 2007. – 78 с.
8. Знаем наших // Коммерсантъ Business Guide – № 75. – 17.12.2014 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.kommersant.ru/private/pdoc?docid=2630171>.
9. Digital Battlespace Handbook 2007-08 : The concise global industry guide [Text]. – The Shephard Press Ltd, 2007.
10. Ответчик радиолокационный «Муссон-502» [Текст] : формуляр. – АРЦ2.005.000 ФО.
11. Battlefield Combat Identification System (BCIS) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/bcis.htm>.
12. STANAG 4579 (Ed. 1) Battlefield target identification devices (BTIDS) [Text].
13. Boletin de Observacion Tecnologica en Defensa. – № 33, 4 Trimestre 2011 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.tecnologiaeinnovacion.defensa.gob.es/Lists/Publicaciones/Attachments/4/boletinn33.pdf>.
14. STANAG 4193 (Edition 2) Technical characteristics of IFF Mk-XA and Mk-XII interrogators and transponders [Text]. Part I: General description of the system (Технічні характеристики запитувачів та відповідачів систем впізнання «свій-чужий» Mk-XA та Mk-XII. Ч. I. Загальний опис систем). – Bruxelles: Military Agency for Standardization, 1990.
15. STANAG 4193 Technical Characteristics of IFF Mk XA and Mk XII [Text]. Part III: IFF Installed System Characteristics. (Технічні характеристики запитувачів та відповідачів систем впізнання свій-чужий Mk-XA та Mk-XII. Ч. III. Установочні характеристики засобів упізнання). – Bruxelles: Military Agency for Standardization, 1990.
16. Титков, О. Защита от друзей [Текст] / О. Титков // Популярная механика. – 2013. – № 12 (134).

Рецензент С. В. Лапицький, д-р техн. наук, проф. (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

УДК 621.396.96

В. Й. КЛИМЧЕНКО, кандидат технічних наук,
доцент,

Г. Г. КАМАЛТИНОВ, кандидат технічних наук
(Науковий центр Повітряних Сил Харківського
національного університету Повітряних Сил
ім. І. Кожедуба, м. Харків),

О. В. БЕЛАВІН, головний інженер
радіотехнічних військ

(Командування Повітряних Сил Збройних Сил
України, м. Вінниця),

І. Л. ЄФІМОВ, провідний науковий співробітник
(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

Особливості розрахунку коефіцієнта використання радіогоризонту в оглядових радіолокаційних станціях метрового діапазону хвиль

Розглядається аналітичний спосіб визначення коефіцієнта використання радіогоризонту радіолокаційними станціями (РЛС) метрового діапазону хвиль на основі методу відбивного трактування. Визначені умови та фактори, що впливають на величину коефіцієнта використання радіогоризонту, і отримані розрахункові співвідношення для його обчислення з урахуванням конкретних умов бойового застосування РЛС.

Доведена можливість використання означеного способу визначення коефіцієнта використання радіогоризонту для розрахунку дальності виявлення цілей з різними значеннями ефективної поверхні розсіювання на малих і середніх висотах з урахуванням характеру рельєфу позицій, на яких розгорнуті радіолокаційні станції.

Ключові слова: радіолокаційні станції метрового діапазону хвиль, зона виявлення повітряних об'єктів, коефіцієнт використання радіогоризонту.

Рассматривается аналитический способ определения коэффициента применения радиогоризонта радиолокационными станциями (РЛС) метрового диапазона волн на основе метода отражательной трактовки. Определены условия и факторы, влияющие на величину коэффициента использования радиогоризонта, и получены расчетные соотношения для его определения с учетом конкретных условий боевого применения РЛС.

Доказана возможность использования этого способа определения коэффициента использования радиогоризонта для расчета дальности обнаружения целей с разными значениями эффективной поверхности рассеяния на малых и средних высотах с учетом характера рельефа позиций, на которых развернуты РЛС.

Ключевые слова: радиолокационные станции метрового диапазона волн, зона обнаружения воздушных объектов, коэффициент использования радиогоризонта.

У тактичних розрахунках можливостей радіотехнічних підрозділів і частин з виявлення цілей на малих і середніх висотах досить часто користуються таким поняттям, як коефіцієнт використання радіогоризонту [1–3], під яким розуміють відношення реальної дальності виявлення радіолокаційною станцією цілі на заданій висоті польоту $r(h_u)$ до дальності прямої видимості цілі на цій же висоті $r_{пв}(h_u)$. При цьому для кожного типу РЛС означений коефіцієнт задається як постійна величина, що отримана в процесі полігонних випробувань і вноситься в формуляр РЛС як її технічна характеристика.

Проте використання означеного коефіцієнта в процесі моделювання бойових дій [4, 5] неодноразово призводило до значної невідповідності реальних і розрахункових можливостей підрозділів радіотехнічних військ, особливо тих, які мають на озброєнні РЛС метрового діапазону хвиль. Причиною таких розходжень є невідповідність умов, за яких визначався коефіцієнт використання радіогоризонту в процесі полігонних випробувань, умовам бойового застосування РЛС.

Останніми роками в цьому напрямі здійснюються певні пошуки щодо визначення нижньої межі зон виявлення цілей без проведення обльотів РЛС. Актуальність цих пошуків визначається необхідністю проведення полігонних випробувань перспективних РЛС за обмежених можливостей випробувальної бази в Україні. У [6] розглядається ітераційний експериментально-розрахунковий метод визначення дальності виявлення повітряних об'єктів (ПО) на різних висотах за даними разових обльотів на певній висоті. У [7] викладена методика визначення окремих параметрів зони виявлення ПО за польотами рейсових літаків.

Метою статті є розробка розрахункового способу визначення коефіцієнта використання радіогоризонту радіолокаційними станціями метрового діапазону хвиль на основі методу відбивного трактування для розрахунку дальності виявлення цілей з різними значеннями ефективної поверхні розсіювання на малих і середніх висотах з урахуванням характеру рельєфу позицій, на яких розгорнуті радіолокаційні станції.

Відповідно до визначення коефіцієнта використання радіогоризонту $K_{врг}$ можна записати так:

$$K_{врг} = \frac{r(h_u)}{r_{пв}(h_u)}. \quad (1)$$

Що стосується дальності прямої видимості $r_{пв}(h_u)$, то вона визначається з урахуванням рефракції через еквівалентний радіус Землі $r_{зе}$ за відомим співвідношенням

$$r_{пв} = \sqrt{2R_{зе}} \cdot (\sqrt{h_u} + \sqrt{h_a}), \quad (2)$$

де h_a – висота електричного центра антени над поверхнею землі. У виразі (2) усі величини мають однакову розмірність. Для випадку нормальної рефракції $r_{зе} = 8470$ км і вираз (2) набуває широко вживаного на практиці вигляду

$$r_{пв} = 4,12 \cdot (\sqrt{h_u} + \sqrt{h_a}), \quad (3)$$

в якому дальність прямої видимості $r_{пв}$ виражена в кілометрах, а висота польоту цілі h_u і висота електричного центра антени над поверхнею h_a – в метрах.

Щодо визначення дальності виявлення цілі на заданій висоті польоту, то, як уже зазначалося, використовувались дані обльотів і на підставі їх за співвідношенням (1) розраховувався $K_{врг}$. Такий підхід є абсолютно правильним, але результат є справедливим лише для конкретної позиції, конкретного типу цілі і тих висот, на яких здійснювався обліт. Поширення отриманих у такий спосіб результатів на інші умови, особливо для РЛС метрового діапазону хвиль, є помилковим, оскільки дальність виявлення цілі $r(h_u)$ на заданій висоті польоту залежить від багатьох чинників, що необхідно враховувати.

Для цього необхідно мати розрахункові співвідношення, які б дозволяли теоретично оцінювати можливості з виявлення цілей за різних умов застосування РЛС.

При формуванні діаграми направленості антени РЛС метрового діапазону хвиль суттєво впливає поверхня Землі. За певних умов при визначенні результуючої діаграми спрямованості антени (ДСА) може успішно використовуватись добре опрацьований і відомий метод відбивного трактування [9].

Сукупна ДСА антени РЛС метрового діапазону хвиль являє собою добуток ДСА антени у вільному просторі $F_0(\epsilon)$ та інтерференційного множника Землі $\Phi(\epsilon)$:

$$F(\epsilon) = F_0(\epsilon) \cdot \Phi(\epsilon). \quad (4)$$

Інтерференційний множник Землі, виходячи з геометрії рис. 1 та з урахуванням розходження хвиль при відбитті від сферичної поверхні Землі, у загальному вигляді описується [8] виразом

$$\Phi(\epsilon) = \left\{ 1 + \rho^2 R^2(\epsilon) \frac{F_0^2(\epsilon_m - 2\epsilon_{пв} + \epsilon)}{F_0^2(\epsilon_m - \epsilon)} + 2\rho \cdot R(\epsilon) \frac{F_0(\epsilon_m - 2\epsilon_{пв} + \epsilon)}{F_0(\epsilon_m - \epsilon)} \cos \left(2\pi \frac{2h_a}{\lambda} \sin(\epsilon - \epsilon_{пв}) + \psi(\epsilon - \epsilon_{пв}) \right) \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

де ρ – коефіцієнт розходження хвиль при відбитті від сферичної поверхні Землі; $R(\epsilon)$, $\psi(\epsilon)$ – модуль і аргумент коефіцієнта відбиття від землі; ϵ_m – кут нахилу максимуму ДСА $F_0(\epsilon)$ над лінією горизонту; $\epsilon_{пв}$ – кут прямої видимості; h_a – висота електричного центра антени над підстильною поверхнею.

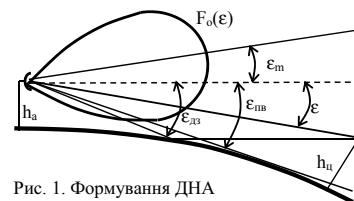


Рис. 1. Формування ДНА під малими кутами місця

При розташуванні РЛС на рівнинній місцевості величина h_a не перевищує 10...20 метрів, і тільки при розташуванні РЛС на урвистому березі моря висота знаходження електричного центра антени над підстильною поверхнею може становити кілька сотень метрів. Але навіть за таких значень h_a коефіцієнт розходження

хвиль при відбитті від сферичної поверхні Землі $\rho \approx 1$ [8], і тоді вираз (5) набуде вигляду

$$\Phi(\epsilon) = \left\{ 1 + R^2(\epsilon) \frac{F_0^2(\epsilon_m - 2\epsilon_{\text{пв}} + \epsilon)}{F_0^2(\epsilon_m - \epsilon)} + \right. \\ \left. + 2R(\epsilon) \frac{F_0(\epsilon_m - 2\epsilon_{\text{пв}} + \epsilon)}{F_0(\epsilon_m - \epsilon)} \cos \left(2\pi \frac{2h_a}{\lambda} \sin(\epsilon - \epsilon_{\text{пв}}) + \psi(\epsilon - \epsilon_{\text{пв}}) \right) \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

Співвідношення (6) має пелюстковий характер, максимуми якого орієнтовані під кутами місця

$$\epsilon_{\text{max}(n)} = \arcsin \left(\frac{(2n-1)\lambda}{4h_a} \right) + \epsilon_{\text{пв}}, \quad (7)$$

а мінімуми – під кутами місця

$$\epsilon_{\text{min}(n)} = \arcsin \left(\frac{2n \cdot \lambda}{4h_a} \right) + \epsilon_{\text{пв}}, \quad (8)$$

де $n=1, 2, \dots$ – номер максимуму та мінімуму.

При типових значеннях $h_a = 6 \dots 10$ м і $\lambda = 1,5 \dots 2$ м кут місця першого максимуму $\epsilon_{\text{max}(1)} = 3^\circ \dots 4^\circ$. Це означає, що для РЛС з максимальною дальністю виявлення цілей 300...400 км усі цілі входять у зону виявлення в області нижньої межі першої пелюстки (рис. 2).

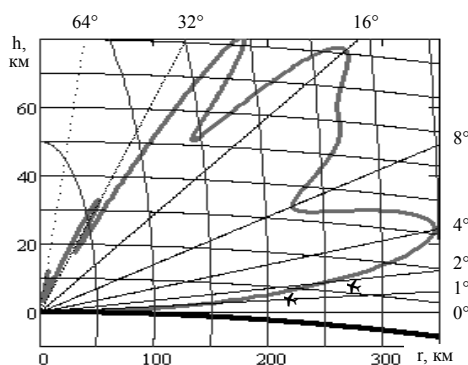


Рис. 2. Типова форма зони виявлення цілей РЛС метрового діапазону хвиль

Для кутів місця $\epsilon < 4^\circ$ майже при усіх типах підстильних поверхонь і незалежно від поляризації хвиль модуль коефіцієнта відбиття від землі $R(\epsilon) \approx 1$, а аргумент $\psi(\epsilon) \approx \pi$ [9]. За таких умов нижня межа першої пелюстки інтерференційного множника Землі може бути описана виразом

$$\Phi(\epsilon) = b \cdot \left| \sin \left(2\pi \frac{h_a}{\lambda} \cdot \sin(\epsilon - \epsilon_{\text{пв}}) \right) \right|, \quad (9)$$

де $1 \leq b \leq 2$ – коефіцієнт інтерференції, величина якого залежить від величини співвідношення $R(\epsilon) \frac{F_0(\epsilon_m - 2\epsilon_{\text{пв}} + \epsilon)}{F_0(\epsilon_m - \epsilon)}$ у виразі (6).

Отже, нижня межа сукупної ДСА антени РЛС метрового діапазону хвиль (1) з урахуванням (9) набуде вигляду

$$F(\epsilon) = F_0(\epsilon) \cdot b \cdot \left| \sin \left(2\pi \frac{h_a}{\lambda} \cdot \sin(\epsilon - \epsilon_{\text{пв}}) \right) \right|, \quad (10)$$

а нижня межа зони виявлення цілей такою РЛС може бути описана виразом

$$r(\epsilon) = r_0 \cdot F_0(\epsilon) \cdot b \cdot \left| \sin \left(2\pi \frac{h_a}{\lambda} \cdot \sin(\epsilon - \epsilon_{\text{пв}}) \right) \right|, \quad (11)$$

де r_0 – максимальна дальність виявлення цілей у вільному просторі, яка визначається енергетичним потенціалом РЛС, типом цілі та умовами поширення хвиль і для оглядового радіолокатора може бути подана так [10]:

$$r_0 = 4 \sqrt{\frac{P_{\text{ср}} T_0 G_e A_{\text{еф}} \sigma_{\text{ц}}}{(4\pi)^2 \cdot v_{\text{пор}} \cdot L_{\text{РЛС}} \cdot k \cdot T \cdot \text{Ш} \cdot L_3}} = 4 \sqrt{\frac{E \cdot \sigma_{\text{ц}}}{L_3}}, \quad (12)$$

де $P_{\text{ср}}$ – середня потужність передавача; T_0 – період огляду простору; G_e – направленість зони огляду простору без урахування впливу поверхні Землі (для РЛС кругового огляду $G_e = \frac{2}{\pi \int_0^{\pi/2} F_0^2(\epsilon) \cdot \cos \epsilon \cdot d\epsilon}$); $A_{\text{еф}}$ – ефективна площа

антени; $\sigma_{\text{ц}}$ – ефективна відбиваюча поверхня цілі; $v_{\text{пор}}$ – поріг виявлення оброблених ехосигналів; $L_{\text{РЛС}}$ – сумарні втрати сигналів у РЛС у фідерних трактах та при обробці; $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град – стала Больцмана; $T \approx 300^\circ$ – приведена шумова температура; Ш – коефіцієнт шуму приймального пристрою; L_3 – затухання електромагнітних коливань при поширенні в атмосфері; E – енергетичний потенціал РЛС, $E = \frac{P_{\text{ср}} T_0 G_e A_{\text{еф}}}{(4\pi)^2 v_{\text{пор}} L_{\text{РЛС}} k T \text{Ш}}$.

Зважаючи на те, що в межах $3^\circ \dots 4^\circ$ ДС антени РЛС метрового діапазону у вільному просторі $F_0(\epsilon)$ змінюється мало (її ширина на рівні половинної потужності становить, як правило, $30^\circ \dots 40^\circ$), вираз (11) можна подати у вигляді

$$r(\epsilon) = r_{\text{max}} \cdot \left| \sin \left(2\pi \frac{h_a}{\lambda} \cdot \sin(\epsilon - \epsilon_{\text{пв}}) \right) \right|, \quad (13)$$

де $r_{\text{max}} = r_0 \cdot F_0(4^\circ) \cdot b$ – дальність виявлення цілі в максимумі нижньої пелюстки ДСА. Через малість кутів ϵ і $\epsilon_{\text{пв}}$ величина

$$\sin(\epsilon - \epsilon_{\text{пв}}) \approx \sin \epsilon - \sin \epsilon_{\text{пв}} \quad (14)$$

і вираз (13) набуде вигляду

$$r(\epsilon) = r_{\text{max}} \sin \left(2\pi \frac{h_a}{\lambda} (\sin \epsilon - \sin \epsilon_{\text{пв}}) \right). \quad (15)$$

Отже, за відомого значення r_{max} нижня межа зони виявлення цілей РЛС метрового діапазону хвиль може бути однозначно описана виразом (15).

Для визначення дальності виявлення цілі на заданій висоті необхідно рівняння (15) перевести з полярної системи координат у прямокутну. Для цього необхідно кут місця цілі виразити через прямокутні координати

$$\sin \epsilon = \frac{h'}{r}, \quad (16)$$

де h' – приведена висота цілі, тобто висота точки розташування цілі відносно горизонтальної площини, що проходить через точку стояння РЛС. Тоді вираз (15) набуде вигляду

$$r = r_{\text{max}} \cdot \sin \left(2\pi \frac{h_a}{\lambda} \left(\frac{h'}{r} - \sin \epsilon_{\text{пв}} \right) \right). \quad (17)$$

Змінна h' пов'язана з висотою польоту цілі h над поверхнею Землі з урахуванням нормальної рефракції і висоти розташування електричного центра антени РЛС таким співвідношенням:

$$h' = h_{\text{ц}} - \frac{r^2}{2R_{\text{зе}}} - h_a. \quad (18)$$

Отже, при відомому значенні r_{\max} можна розрахунковим методом за співвідношенням (17) визначити дальність виявлення цілей на висотах

$$h \leq h'_{\max} + \frac{r_{\max}^2}{2R_{\text{зе}}} + h_a, \quad (19)$$

де величина h'_{\max} є висотою положення точки максимуму першої пелюстки зони виявлення відносно горизонтальної площини, що проходить через точку стояння РЛС, і визначається з рівняння (17) при $r = r_{\max}$:

$$h'_{\max} = \left(\frac{\lambda}{4 \cdot h_a} - \sin \varepsilon_{\text{пв}} \right) \cdot r_{\max}. \quad (20)$$

Завдання ускладнюється лише тим, що рівняння (17) є трансцендентним відносно аргументу r .

Але якщо рівняння (17) з урахуванням (18) виразити відносно змінної h' , то отримаємо

$$h' = \frac{\lambda \cdot r}{2\pi \cdot h_a} \left[\arcsin \left(\frac{r}{r_{\max}} \right) + \frac{2\pi \cdot h_a}{\lambda} \sin \varepsilon_{\text{пл}} \right] + h_a. \quad (21)$$

Ізовисотна траєкторія польоту цілі над поверхнею Землі на висоті h описується рівнянням

$$h' = h_{\text{ц}} - \frac{r^2}{2R_{\text{зе}}}. \quad (22)$$

Вирішуючи систему рівнянь (21) та (22), можна знайти точку перетину з координатами r, h' , де r – дальність виявлення цілі, яка летить на висоті $h_{\text{ц}}$, а h' є супутньою величиною і означає висоту польоту цілі відносно горизонтальної площини, що проходить через точку стояння РЛС.

Визначену в такий спосіб дальність виявлення цілі на заданій висоті необхідно підставити у вираз (1) і з використанням виразу (2) або (3) розрахувати коефіцієнт використання радіогоризонту $K_{\text{врг}}$.

Але такий спосіб визначення дальності виявлення цілі на заданій висоті є малоприматним для практики через свою складність. Більш оперативним способом є апроксимація виразу (21) поліномом другого степеня. Для цього достатньо замінити у виразі (21) функцію $\arcsin \left(\frac{r}{r_{\max}} \right)$ її аргументом і тоді вираз (21) набуде вигляду

$$h' = \frac{\lambda \cdot r^2}{2\pi \cdot h_a \cdot r_{\max}} + r \cdot \sin \varepsilon_{\text{пв}} + h_a. \quad (23)$$

Наскільки правомірна така заміна наочно показує графічне зіставлення функцій (21) і (23), показане на рис. 3, а розрахунки за формулами (21) і (23) доводять, що в діапазоні дальності від 0 до $\frac{2}{3}r_{\max}$ різниця аргументів

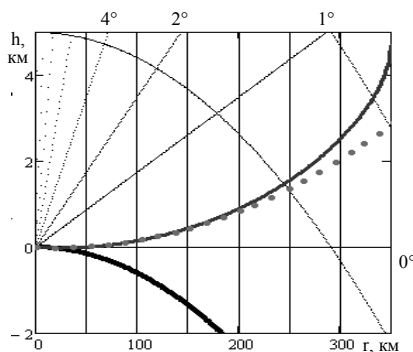


Рис. 3. Апроксимація нижньої межі зони виявлення цілей

при одному й тому ж значенні функції не перевищує 1,5 км. Отже, в означеному діапазоні таке спрощення є цілком правомірним.

Замінивши в рівнянні (23) величину h' її залежністю (22), отримаємо квадратне рівняння відносно змінної r , в якому висота польоту цілі над поверхнею Землі $h_{\text{ц}}$ є параметром:

$$r^2 \left(\frac{\lambda}{2\pi \cdot h_a \cdot r_{\max}} + \frac{1}{2R_{\text{зе}}} \right) + r \cdot \sin \varepsilon_{\text{пв}} + h_a - h = 0. \quad (24)$$

Рішенням цього рівняння є залежність дальності виявлення цілі від висоти її польоту над поверхнею Землі $h_{\text{ц}}$ при відомих значеннях λ, h_a, r_{\max} і $\varepsilon_{\text{пв}}$:

$$r = \frac{-\sin \varepsilon_{\text{пв}} + \sqrt{\sin^2 \varepsilon_{\text{пв}} - 4(h_a - h_{\text{ц}}) \left(\frac{\lambda}{2\pi h_a r_{\max}} + \frac{1}{2R_{\text{зе}}} \right)}}{\frac{\lambda}{\pi h_a r_{\max}} + \frac{1}{R_{\text{зе}}}}. \quad (25)$$

Отримане розрахункове значення дальності виявлення цілі на заданій висоті польоту використовується для розрахунку $K_{\text{врг}}$ за співвідношеннями (1), (2):

$$K_{\text{врг}} = \frac{-\sin \varepsilon_{\text{пв}} + \sqrt{\sin^2 \varepsilon_{\text{пв}} - 4(h_a - h_{\text{ц}}) \left(\frac{\lambda}{2\pi h_a r_{\max}} + \frac{1}{2R_{\text{зе}}} \right)}}{\sqrt{2R_{\text{зе}}} (\sqrt{h_{\text{ц}}} + \sqrt{h_a}) \left(\frac{\lambda}{\pi h_a r_{\max}} + \frac{1}{R_{\text{зе}}} \right)}}. \quad (26)$$

Вираз (26) дає змогу оцінити залежність коефіцієнта використання радіогоризонту $K_{\text{врг}}$ від енергетичного потенціалу РЛС r_{\max} , відносної висоти встановлення фазового центра антени $\frac{h_a}{\lambda}$, прямої видимості або кута закриття $\varepsilon_{\text{пв}}$, висоти польоту цілі $h_{\text{ц}}$ та стану атмосфери $R_{\text{зе}}$.

Від висоти польоту цілі значення $K_{\text{врг}}$ при фіксованих значеннях решти параметрів практично не залежить (рис. 4). Але це не означає, що при розрахунках $K_{\text{врг}}$ за формулою (26) значення висоти $h_{\text{ц}}$ можна обирати довільно. Справа в тому, що формула (26) отримана в результаті апроксимації істинного закону зміни нижньої межі зони виявлення (13) спрощеним розрахунковим співвідношенням (23). Означена апроксимація є справедливою тільки в діапазоні дальності від 0 до $\frac{2}{3}r_{\max}$. При цьому діапазон висот становить від 0 до $(0,3 \dots 0,5)h'_{\max}$, де h'_{\max} – приведена висота положення точки першого максимуму зони виявлення, розрахована за формулою (20). Із цих міркувань необхідно і обирати значення висоти $h_{\text{ц}}$ у формулі (26). При $r_{\max} = 350$ км величина $h_{\text{ц}} < 4 \dots 5$ км.

Залежність $K_{\text{врг}}$ від висоти розташування електричного центра антени над підстильною поверхнею за фіксованого значення інших параметрів показана на рис. 5.

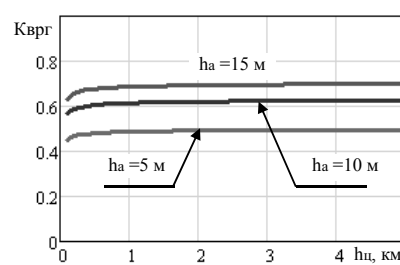


Рис. 4. Залежність $K_{\text{врг}}$ РЛС типу П-18 "Малахіт" від висоти польоту цілі за різних значень висоти підйому електричного центра антени по цілі з ЕПР $\sigma = 5 \text{ м}^2$

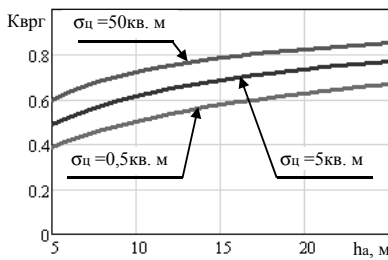


Рис. 5. Залежність $K_{\text{врг}}$ РЛС типу П-18 "Малахіт" від висоти підйому електричного центра антени за різних значень ЕПР цілі

Означена залежність показує, що піднімати антену на висоти більше 15...20 м над підстильною поверхнею не варто, оскільки подальший приріст $K_{\text{врг}}$ виражений слабо.

Коефіцієнт використання радіогоризонту значною мірою залежить від енергетичного потенціалу РЛС та від ЕПР цілі. При зміні енергетичного потенціалу РЛС змінюється величина r_{max} у виразах (25), (26) у відповідності до (12), а при зміні ЕПР цілі у виразах (25) і (26) необхідно замість величини r_{max} підставити величину

$r_{\text{max}} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_1}{\sigma_0}}$, де σ_0 – ЕПР цілі, максимальна дальність виявлення якої становить величину r_{max} , а σ_1 – ЕПР цілі, по якій необхідно розрахувати $K_{\text{врг}}$. Залежність $K_{\text{врг}}$ від ЕПР цілі зображена на рис. 6.

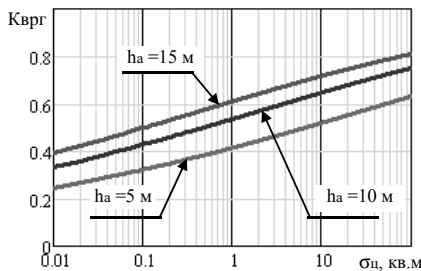


Рис. 6. Залежність $K_{\text{врг}}$ РЛС типу П-18 "Малахіт" від ЕПР цілі за різних значень висоти підйому електричного центра антени

Означена залежність показує, що величина коефіцієнта використання радіогоризонту при виявленні малорозмірних цілей типу крилатих ракет у разі менше, ніж при виявленні цілей типу бомбардувальник. Аналогічний характер має залежність $K_{\text{врг}}$ і від енергетичного потенціалу РЛС.

Висновки

1. Коефіцієнт використання радіогоризонту є технічною характеристикою, яка вноситься до формуляра РЛС. Але для РЛС метрового діапазону хвиль вона є справедливою лише для тих умов, за яких була отримана в процесі полігонних випробувань РЛС.

2. Отримане співвідношення, яке дає змогу оцінити залежність коефіцієнта використання радіогоризонту від потенціалу РЛС, ЕПР цілі, відносної висоти встановлення фазового центра антени та кута закриття.

3. Враховуючи безумовність уточнення дальності виявлення відомого типу маловисотної цілі після

розгортання РЛС на новій позиції, запропонована методика коефіцієнта використання радіогоризонту може бути внесена до експлуатаційної документації на РЛС протиповітряної оборони.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Керівництво з об'єкту наземних радіолокаційних станцій, розгорнутих на бойових позиціях [Текст]. – Вінниця : КПС ЗСУ, 2010. – 68 с. ДСК, інв. №2075/2.
2. Тактика радіотехнічних військ [Текст] : навч. посіб. / Б. В. Бакуменко, В. І. Боровий, В. В. Ковкін [та ін.] / за ред. Б. В. Бакуменка. – Харків : ХУПС, 2007. – 228 с.
3. Довідник з протиповітряної оборони [Текст] / А. Я. Торопчин, І. О. Романенко, Ю. Г. Даник [та ін.]. – К. : МО України; Х. : ХВУ, 2003. – 368 с.
4. Обґрунтування напрямків створення єдиної системи розвідки та контролю повітряного простору України [Текст] : звіт про НДР (заключний) / ХУПС. – Шифр «Геркулес», № ДР 0101U001073; Інв. № 3109/2. – Х., 2011. – 155 с. ДСК.
5. Обґрунтування вимог до завадозахищеності перспективних зразків радіолокаційних станцій радіотехнічних військ від активних шумових завад [Текст] : звіт про НДР / ХУПС. – Шифр «Захист РТВ»; № ДР 0101U001468; Інв. № 3227/2. – Х., 2013. – 226 с. ДСК.
6. Белавін, О. В. Експериментально-розрахунковий метод оцінки параметрів зон виявлення первинних та вторинних РЛС [Текст] / О. В. Белавін, Г. Г. Камалтинов, О. С. Маляренко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України : наук.-техн. журн. 2012. – № 3 (9). – Х. : ХУПС, 2012. – С. 69–73.
7. ДОС. 8071, т. I, ІКАО, 1998. Руководство по испытаниям радионавигационных средств. Испытания обзорных радиолокационных систем [Текст] : Manual on Testing of Radionavigation AIDS. V. III. Testing of surveillance Radar Systems [DOC 8071].
8. Приземные зоны видимости РЛС с учетом влияния сферичности Земли и радиорефракции / Н. А. Арманд, В. А. Андрианов, Б. В. Ракитин [и др.]. – М. : ИРЭ АН СССР, 1977. – 80 с.
9. Марков, Г. Т. Электродинамика и распространение радиоволн [Текст] / Г. Т. Марков, Б. М. Петров, Г. П. Грудинская. – М. : Сов. радио, 1979. – 376 с.
10. Основы построения РЛС РТВ [Текст] / В. П. Блохин, Б. Ф. Бондаренко, В. Т. Неснов, В. Е. Угольников ; под ред. Б. Ф. Бондаренко. – К. : КВИРТУ ПВО, 1987. – 368 с.

Рецензент А. С. Довгополий, д-р техн. наук, проф. (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

УДК 681.5, 621.396

С. В. ГЕРАСИМОВ,

кандидат технічних наук,

С. В. КУКОБКО, кандидат технічних наук,**Є. С. РОЩУПКІН,** кандидат технічних наук
(Науковий центр Повітряних Сил Харківського
університету Повітряних Сил, м. Харків),**О. О. РАССТРИГІН,** доктор технічних наук(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

Синтез вимірювальних сигналів для визначення технічного стану систем автоматичного управління

Запропоновані та досліджені критерії синтезу оптимальних вимірювальних сигналів для контролю параметрів систем автоматичного управління. Обґрунтовано, що розглянуті критерії зводяться до єдиного, який пропонується використовувати для знаходження параметрів оптимального вхідного вимірювального сигналу, що застосовується для визначення технічного стану систем автоматичного управління.

Предложены и исследованы критерии синтеза оптимальных измерительных сигналов для контроля параметров систем автоматического управления. Обосновано сведение рассмотренных критериев к единому, который предлагается использовать для нахождения параметров оптимального входного измерительного сигнала, применяемого для определения технического состояния систем автоматического управления.

Експлуатація за технічним станом передбачає проведення операцій з визначення, діагностування та прогнозування реального (фактичного) стану системи автоматичного управління (САУ) протягом життєвого циклу. Для цього за допомогою засобів вимірювальної техніки проводять безперервний або періодичний контроль параметрів технічного стану САУ.

Основою визначення технічного стану САУ є дослідження її динамічних характеристик [1–3] за узагальненою схемою, зображеною на рис. 1. За цією схемою на вхід САУ діють відомим вимірювальним (тестовим, стимулюючим, випробувальним) сигналом $u(t)$, який формується генератором тестових сигналів Γ і має певні характеристики. Під впливом вхідного вимірювального сигналу $u(t)$ на виході САУ утворюється вихідний сигнал (сигнал-відгук) $y(t)$ або реакція певної форми, залежно від форми вхідного сигналу та параметрів САУ. Вхідний вимірювальний сигнал $u(t)$ та вихідний сигнал $y(t)$ САУ подаються в аналізатор A , за допомогою якого визначаються параметри системи q_j , $j = 1, N$, де N – кількість параметрів контролю системи, або апостеріорних параметрів z_i , $i = 1, M$, M – кількість значень i -го параметра, що отримана після проведення контролю системи (апостеріорна кількість параметрів контролю), значення яких дозволяють визначити технічний стан системи.

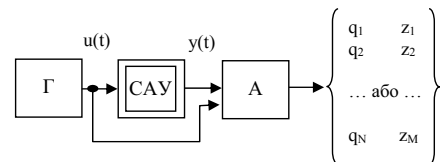


Рис. 1. Структурна схема контролю

При визначенні технічного стану САУ важливе місце займають методики та методи проведення контролю. Тому синтез оптимальних вхідних вимірювальних сигналів для дослідження динамічних характеристик САУ при її експлуатації за технічним станом є актуальною науковою проблемою.

Розглянемо САУ, математичний оператор $\Phi(\{u\})$ якої визначає її реакцію $y(t)$ у момент часу t на вхідний вимірювальний сигнал $u(t)$. Оператор $\Phi(\{u\})$ залежить від параметрів контролю САУ q_j і в загальному випадку може бути нелінійним. Отже, реакція системи є функцією від параметрів q_j і функціоналом від вхідного вимірювального сигналу $u(t)$: $Y = y(t, q_j, \{u\})$. За наявності адитивної завади $\xi(t)$ вихідний сигнал системи $x(t) = y(t) + \xi(t)$. Позначимо номінальні значення параметрів q_j через q_{ji} . При малих відхиленнях параметрів САУ q_j від номінальних значень q_{ji} сигнал неузгодження на виході системи $\Delta x = x - x_i$ залежно від моменту часу контролю можна записати у вигляді

$$\Delta x(t) = \sum_{j=1}^N d_j(t, \{u\}) q_j + \xi(t), \quad (1)$$

де $d_j(t, \{u\}) = \left. \frac{\partial \Delta y}{\partial q_j} \right|_{q_j=q_{ji}}$; $\Delta y = y - y_i$ – неузгодження реакції (сигналу-відгуку) САУ на вхідний вимірювальний

сигнал $u(t)$; y , y_i – реакція (сигнал-відгук) САУ і номінальне значення реакції (сигналу-відгуку) відповідно.

Параметри контролю САУ q_j (або похибки параметрів системи $\Delta q_j = q_j - q_{ji}$) у загальному випадку є статистично залежними. Але необхідно враховувати, що наявність залежних параметрів призводить до надмірності контролю, тобто до зменшення оперативності та збільшення економічних витрат. Тому при обґрунтуванні методів контролю будемо вважати параметри контролю САУ стаціонарними та некорельованими із завадою. Згідно із цією умовою позначимо кореляційну матрицю величин Δq_j через $R_{qj} < \Delta q_i \Delta q_j >$, де знак $< >$ означає середнє значення за ансамблем величин

Δq_j . Оскільки матриця R_{qj} є позитивно визначеною ($\sum_{i=1, j=1}^N R_{qj} \xi_i \xi_j > 0$ при будь-яких $\xi_j \neq 0$) і симетрич-

ною ($R_{qj} = R_{qji}$), то лінійним перетворенням перейдемо до нових змінних $\Delta q'_j$, що будуть статистично незалежними та їх дисперсії будуть дорівнювати одиниці, тобто $R_{qj} < \Delta q_i \Delta q_j > = \delta_{ij}$, де δ_{ij} – символ Кронекера [4]. Тоді в незалежних змінних $\Delta q'_j$ співвідношення (1) запишемо так:

$$\Delta x(t) = \sum_{j=1}^N a_j(t, \{u\}) \Delta q'_j + \xi(t), \quad (2)$$

де $a_j(t, \{u\}) = \frac{\partial \Delta x}{\partial q'_j} \Big|_{q'_j = q_{ji}}$, q'_j – незалежні параметри контролю САУ.

При необхідності за допомогою співвідношення (2) можна повернутися до початкових статистично залежних змінних. Доведене відноситься й до змінних q_j , що також можна вважати статистично незалежними при подальших розрахунках.

Часто метою контролю САУ є вимірювання не самих параметрів q_j , а якоїсь функції від цих параметрів $Y = f(q_1, q_2, \dots, q_N)$, тобто визначення технічного стану системи за узагальненим параметром. Прикладом такої функції може бути будь-яка величина, що визначає кількісну оцінку запасу стійкості системи. Позначимо величини, значення яких необхідно отримати в результаті контролю (апостеріорні значення параметрів контролю), через z_i . Хоча значення параметрів z_i (при $M < N$) несуть менше інформації про систему, ніж повний набір параметрів q_j , однак у більшості випадків вдалий вибір відносно невеликої кількості апостеріорних параметрів z_i вважається достатнім для порівняно повної оцінки якості системи та, з іншого боку, може істотно спростити її контроль. У загальному випадку параметри z_i можуть співпадати з параметрами q_j . Тому повнота контролю Π системи залежить від кількості параметрів, що не підлягають контролю, тобто $\Pi = M/N$. Як правило, при виборі параметрів контролю САУ необхідно прагнути умови $\Pi \rightarrow 1$ [5].

При малих відхиленнях Δq_j параметрів системи q_j від номінальних значень q_{ji} величини z_i зв'язані з цими параметрами лінійною залежністю

$$z_i = \sum_{j=1}^N b_{ij} q_j, \quad (3)$$

де $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, N}$, $M \leq N$; b_{ij} – матриця коефіцієнтів, яка залежить від характеристик САУ.

Відзначимо, що в загальному випадку матриця b_{ij} може не мати оберненої (це обов'язково буде при $N \neq M$). Величини z_i можна прийняти ортонормованими випадковими величинами, тобто $< z_i z_j > = \delta_{ij}$.

Метою контролю САУ є визначення величин z_i залежно від значень параметрів q_j (або параметрів неузгодження $\Delta x(t)$). Оскільки $\Delta x(t)$ є функціоналом від вхідного вимірювального сигналу $u(t)$, то значення z_i будуть залежати, з одного боку, від методу контролю, а з іншого боку – від параметрів вимірювального сигналу $u(t)$. Різні критерії будуть приводити до різних оптимальних вимірювальних сигналів $u_{opt}(t)$. При цьому виникає питання, якому з критеріїв потрібно віддати перевагу. Відзначимо, що при досить малій заваді практично всі вимірювальні сигнали рівноцінні, оскільки в цьому випадку, як видно з (2), знання функціонала $\Delta x(t)$ навіть у фіксовані моменти часу дозволяє достатньо точно визначити значення незалежних параметрів Δq_j , а отже, й величин z_i . Для цього потрібно розв'язати систему рівнянь (2), що записана для різних моментів часу відносно величин Δq_j . Тому задача вибору параметрів оптимального вимірювального сигналу САУ є актуальною тільки за досить великої завади. Іншими словами, той вимірювальний сигнал САУ, який буде оптимальним для великої завади, буде також оптимальним за будь-якого значення завади, бо за малої завади практично всі вимірювальні сигнали САУ є тією чи іншою мірою оптимальними.

Розглянемо основні критерії оптимізації параметрів вхідних вимірювальних сигналів САУ, до яких віднесемо максимум інформаційного показника, мінімум середньоквадратичної похибки, максимум чутливості, і обґрунтуємо, що за великої завади всі названі критерії зводяться до одного. Цей критерій може бути прийнятий як універсальний для будь-якої завади.

Інформаційний показник. Припустимо, що вихідний сигнал САУ вимірюється в точках $\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$, m – кількість точок вимірювання параметра z_i . Для спрощення подальших розрахунків уведемо векторні позначення.

Нехай вектор Q означає сукупність параметрів контролю САУ, $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_N\}$; вектор Z – сукупність величин, $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_M\}$, значення яких визначаються за результатами контролю САУ після впливу на неї вхідного вимірювального сигналу $u(t)$; вектор ΔX є сукупністю значень вхідного сигналу $\Delta x(t)$ САУ, $\Delta X = \{\Delta x(t_1), \Delta x(t_2), \dots, \Delta x(t_m)\}$; відповідно вектор завад $\xi = \{\xi(t_1), \xi(t_2), \dots, \xi(t_m)\}$. Тоді рівняння (2) і (3) запишемо у вигляді

$$\Delta X = AQ + \xi; \quad (4)$$

$$Z = BQ, \quad (5)$$

де A – матриця з елементами $a_{jk} = a_j(t_k)$, $k = \overline{1, m}$; B – матриця з елементами b_{ij} , при цьому, оскільки $< z_i z_j > = \delta_{ij}$, матриця B задовольняє співвідношенню

$$BB^T = E, \quad (6)$$

де B^T – транспонована матриця; E – одинична матриця.

З метою проведення арифметичних операцій над матрицями введемо вектори $\zeta = \{\Delta y(t_1), \Delta y(t_2), \dots, \Delta y(t_m); z_1, z_2, \dots, z_M\}$ і

$$\tilde{\zeta} = \left\{ \xi(t_1), \xi(t_2), \dots, \xi(t_m); \underbrace{0, \dots, 0}_M \right\}, \quad \text{розмір яких}$$

$m + M$, і матрицю $C = \begin{pmatrix} A & 0 \\ 0 & B \end{pmatrix}$. Тоді з (4) і (5) отримаємо

$$\zeta = CQ + \tilde{\zeta}, \quad (7)$$

а взаємна інформація між величинами ΔX і Z

$$I(\Delta X, Z) = \int_i^{m+M} p(\Delta X, Z) \log \frac{p(\Delta X, Z)}{p(Z)p(\Delta X)} dZ d\Delta X = H(\Delta X) + H(Z) - H(\zeta), \quad (8)$$

де $p(\Delta X, Z)$ – спільна імовірність появи величин $\Delta X, Z$; $p(Z), p(\Delta X)$ – імовірності появи величин $Z, \Delta X$ відповідно; $H(\Delta X), H(Z), H(\zeta)$ – ентропії величин $\Delta X, Z, \zeta$ відповідно, що визначаються за формулами

$$\begin{aligned} H(\Delta X) &= - \int_i^{m+M} p(\Delta X) \log p(\Delta X) d\Delta X; \\ H(Z) &= - \int_i^{m+M} p(Z) \log p(Z) dZ; \\ H(\zeta) &= - \int_i^{m+M} p(\zeta) \log p(\zeta) d\zeta, \end{aligned} \quad (9)$$

де $p(\zeta)$ – імовірність появи величини ζ .

Якщо величини Q розподілені за нормальним законом, то і величини $\Delta X, Z, \zeta$ відповідно до (4), (5), (6) також будуть розподілені за нормальним законом. Позначимо кореляційні матриці цих величин відповідно

$$\begin{aligned} (R_{\Delta X})_{ij} &= \langle \Delta X_i \Delta X_j \rangle; (R_Z)_{ij} = \langle Z_i Z_j \rangle; \\ (R_\zeta)_{ij} &= \langle \zeta_i \zeta_j \rangle. \end{aligned} \quad (10)$$

Якщо σ^2 є дисперсією завади, то ці кореляційні матриці з урахуванням (4), (5), (6) запишемо у вигляді

$$\begin{aligned} R_{\Delta X} &= AA^T + \sigma^2 E; \\ R_Z &= BB^T = E; \\ R_\zeta &= \begin{pmatrix} R_{\Delta X} & AB^T \\ BA^T & E \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (11)$$

Використовуючи відомі вирази для ентропії нормального закону [4], отримаємо

$$I(\Delta X, Z) = \frac{1}{2} \log \frac{\det R_{\Delta X}}{\det R_\zeta}. \quad (12)$$

Застосовуючи формулу Гауса для розрахунку $\det R_\zeta$, знаходимо

$$\det R_\zeta = \det R_{\Delta X} \det(E - BA^T R_{\Delta X}^{-1} AB^T), \quad (13)$$

і для функції $I(\Delta X, Z)$ остаточно маємо

$$I(\Delta X, Z) = -\frac{1}{2} \log \det(E - BA^T R_{\Delta X}^{-1} AB^T). \quad (14)$$

За великої завади

$$R_{\Delta X}^{-1} \approx \frac{E}{\sigma^2} + 0\left(\frac{1}{\sigma^4}\right), \quad (15)$$

де $0\left(\frac{1}{\sigma^4}\right)$ – нульова матриця з діагональними елементами $\frac{1}{\sigma^4}$, тому з (14) отримаємо

$$\begin{aligned} I(\Delta X, Z) &= -\frac{1}{2} \log \left[1 - \frac{1}{\sigma^2} Sp(BA^T AB^T) \right] \approx \\ &\approx \frac{1}{2\sigma^2} Sp(BA^T AB^T) = \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^M \left(\sum_{j=1}^N b_{ij} a_{kj} \right)^2. \end{aligned}$$

Позначимо $\Phi(\{u\}) = \sum_{k,i} \left(\sum_j b_{ij} a_{kj} \{u\} \right)^2$. Тоді інформаційний критерій вибору оптимального вимірювального сигналу $u_{om}(t)$, тобто сигналу, який дозволяє отримати максимальну інформацію про величини z_i , зводиться до умови

$$\Phi(\{u_{om}\}) = \sup_{\{u\}} \Phi(\{u\}). \quad (17)$$

Показник середньоквадратичної похибки. Позначимо через ε середньоквадратичну похибку (СКП) оцінки z_i^o величин z_i :

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^M \langle (z_i - z_i^o)^2 \rangle. \quad (18)$$

Як відомо, мінімальне значення СКП оцінки z_i^o забезпечується, якщо як z_i^o застосувати апостеріорне середнє значення z_i , тобто

$$z_i^o = \int_{k=1}^m z_{ik} p(Z|\Delta X) dz, \quad (19)$$

де $p(Z|\Delta X) = p(Z, \Delta X) / p(\Delta X)$;

$$p(Z, \Delta X) \equiv p(\zeta) = (2\pi)^{-(m+M)/2} |\det R_\zeta|^{-1/2} \exp \left[-\frac{1}{2} (\zeta R_\zeta^{-1} \zeta) \right]; \quad (20)$$

$$p(\Delta X) = (2\pi)^{-m/2} |\det R_{\Delta X}|^{-1/2} \exp \left[-\frac{1}{2} (\Delta X R_{\Delta X}^{-1} \Delta X) \right].$$

Після проведення розрахунків величини $\delta(Z|\Delta X)$ отримаємо

$$p(Z|\Delta X) = (2\pi)^{-M/2} |\det H|^{-1/2} \exp \left[-\frac{1}{2} (ZH^{-1}Z) \right], \quad (21)$$

де $H = E - BA^T R_{\Delta X}^{-1} AB^T$.

При цьому для СКП оцінки z_i^o знаходимо

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^M < \Delta z_i^2 > = \sum_{i=1}^M H_{ii} = M - \text{Sp}(B A^T R_{\Delta\Delta}^{-1} A B^T). \quad (22)$$

Оптимальний сигнал $u_{\text{opt}}(t)$ САУ, який мінімізує СКП ε оцінки z_i^o , визначимо з умови

$$\varepsilon_{\min}(\{u_{\text{opt}}\}) = J_{\text{inf}} \varepsilon(\{u_{\text{opt}}\}). \quad (23)$$

За достатньо великої завади, враховуючи (15), формула (23), що визначає параметри оптимального вимірювального сигналу $u_{\text{opt}}(t)$ САУ, набуває вигляду

$$\varepsilon_{\min}(\{u_{\text{opt}}\}) = M - \frac{1}{\sigma^2} \sup_{\{u\}} \text{Sp}(B A^T A B^T), \quad (24)$$

що еквівалентно співвідношенню (17).

Показник чутливості. Повернемося до (2), (3) і розрахуємо похідну величини $\Delta y(t)$ в напрямку нормалі до гіперплощини $z_i = \text{const}$, тобто коефіцієнт чутливості величини $\Delta y(t)$ по відношенню до зміни величини z_i . У координатах $\{q_1, q_2, \dots, q_N\}$ величини $a_j(t)$ є складовими градієнта функції $\Delta y(t)$: $\nabla[\Delta y(t)] = \{a_1(t), a_2(t), \dots, a_N(t)\}$. Згідно з (6) величини b_j є складовими одиничного вектора нормалі до гіперплощини $z_i = \text{const}$: $n_i = \{b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{iN}\}$. Тому похідна функції $\Delta y(t)$ у напрямку нормалі n_i дорівнює скалярному добутку

$$\frac{\partial \Delta y}{\partial z_i} = [n_i \nabla(\Delta y)] = \sum_{j=1}^N b_j a_j(t). \quad (25)$$

Позначимо цю похідну через $B_i(t)$, $B_i(t) = \sum_{j=1}^N b_j a_j(t)$.

Введемо середньоквадратичну чутливість, яка визначається за всіма результатами вимірювань та за всіма величинами z_i за формулою

$$S = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^M B_i^2(t_k). \quad (26)$$

Тоді для оптимального вхідного вимірювального сигналу $u_{\text{opt}}(t)$ САУ, який забезпечує максимальне значення середньоквадратичної чутливості, запишемо

$$S(\{u_{\text{opt}}\}) = \sup_{\{u\}} S(\{u\}). \quad (27)$$

Як видно з (27), умова для визначення параметрів оптимального вхідного вимірювального сигналу $u_{\text{opt}}(t)$ САУ, яка базується на критерії максимуму чутливості, еквівалентна співвідношенню (24), що визначає мінімум СКП, і співпадає з умовою (17), яка відповідає максимуму інформаційного показника.

Висновки. Проведений аналіз свідчить, що критерії максимуму інформації, мінімального значення середньоквадратичної похибки та максимальної середньоквадратичної чутливості за достатньо великої завади зводяться до єдиного критерію визначення оптимального вхідного вимірювального сигналу $u_{\text{opt}}(t)$ САУ

$$\Phi(\{u_{\text{opt}}\}) = \sup_{\{u\}} \Phi(\{u\}) = \sup_{\{u\}} \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^M B_i^2(t_k, \{u\}), \quad (28)$$

$$\text{де } B_i(t_k, \{u\}) = \sum_{j=1}^N \frac{\partial z_i}{\partial q_j} \frac{\partial \Delta y}{\partial q_j} = \sum_{j=1}^N b_j a_j(t_k, \{u\}).$$

Оскільки за малої завади оптимальним є вимірювальний сигнал, який породжує неособливу матрицю $a_j(t_k)$ (ця умова необхідна для розв'язання системи рівнянь (2) при $\xi \rightarrow 0$), то оптимальним буде сигнал, отриманий, наприклад, за допомогою критерію максимального значення інформаційного показника (17). Це дозволяє застосовувати критерій (17) для визначення параметрів оптимального вхідного вимірювального сигналу САУ за довільної завади.

Визначимо, що при безперервному вимірюванні сигналу на виході САУ суму по всіх точках t_k можна замінити інтегралом за часом контролю. При цьому функціонал $\Phi(\{u\})$ перейде у функціонал

$$\Phi_1(\{u\}) = \int_0^T \sum_{i=1}^M B_i^2(t, \{u\}) dt. \quad (29)$$

Як було показано вище, за умови, що матриця b_j має обернену (6), виконуються рівності $B^T = B^{-1}$ і $B^T B = E$. При цьому $\text{Sp}(B A^T A B^T) = \text{Sp}(A^T A)$, і функціонал Φ дещо спрощується:

$$\Phi = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^N a_j^2(t_k, \{u\}). \quad (30)$$

З іншого боку, з (2) видно, що середньоквадратичне значення вихідного вимірювального сигналу САУ

$$\sum_{k=1}^m < [\Delta x(t_k)]^2 > = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^N a_j^2(t_k) + N \sigma^2, \quad (31)$$

тобто функціонал Φ є середньоквадратичним значенням корисного сигналу на виході системи. Якщо параметри z_i залежать не від усіх параметрів q_j (матриця b_j в цьому випадку не буде мати оберненої), то в критерій (17) входять тільки коефіцієнти чутливості по параметрах q_j , що впливають на величини z_i , а частина вихідного сигналу, яка залежить від інших випадкових параметрів q_j , фактично належить до завади. При цьому критерій (17) максимізує тільки корисну (інформаційну) частину вихідного сигналу.

Таким чином, у статті досліджені основні критерії оптимізації вимірювальних сигналів засобів вимірювальної техніки (генераторів, калібраторів, контрольно-перевірочної апаратури тощо), що використовуються для визначення параметрів систем автоматичного управління. Обґрунтовано, що за наявності адитивної гаусівської завади достатньо великого рівня розглянуті критерії зводяться до єдиного. Цей критерій пропонується використовувати для знаходження параметрів оптимального вхідного вимірювального сигналу для контролю технічного стану систем автоматичного управління.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бесекерський, В. А. Теория систем автоматического регулирования [Текст] / В. А. Бесекерський, Е. П. Попов. – М.: Наука, 1972. – 768 с.

2. Смирнов, Н. Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию [Текст] / Н. Н. Смирнов, А. А. Ицкевич. – М. : Транспорт, 1987. – 272 с.
3. Техническая эксплуатация летательных аппаратов [Текст] : учеб. для вузов / Н. Н. Смирнов, Н. И. Владимиров, Ж. С. Черненко [и др.] ; под ред. Н. Н. Смирнова. – М. : Транспорт, 1990. – 423 с.
4. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М. : Наука, 1986. – 544 с.
5. Дмитриев, А. К. Основы теории построения и контроля сложных систем [Текст] / А. К. Дмитриев, П. А. Мальцев. – Л. : Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.

Рецензент Д. П. Кучеров, д-р техн. наук, проф.
(Національний авіаційний університет)

УДК 681.324

Б. О. ОЛІАРНИК,*доктор технічних наук,***К. С. ЄВТУШЕНКО,** *кандидат технічних наук**(Державне підприємство Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут, м. Львів)*

Комплекс уніфікованих технічних засобів для командно-штабних машин та вогневих засобів артилерії

На основі аналізу функціональних задач з автоматизації управління артилерійським дивізіоном пропонується цілісний уніфікований ряд технічних засобів для командно-штабних машин тактичної ланки незалежно від виду рухомої платформи.

На основании анализа функциональных задач автоматизированного управления артиллерийским дивизионом предлагается целостный унифицированный ряд технических средств для командно-штабных машин тактического звена независимо от типа подвижных платформ.

Сьогодні і в майбутньому під час проведення бойових дій мережоцентричність стала реальністю. Це привело до нових форм і способів управління збройними силами, що дає можливість автоматизувати прийняття бойових рішень і планування бою і що врешті приводить до нових способів ведення воєнних дій [1].

Засоби, що забезпечують мережоцентричність, можна з деякими спрощеннями поділити на апаратну та програмні складові, хоча такий розподіл немає чіткої границі через сильний взаємовплив. Але, тим не менше, для практичного використання в інженерному проектуванні бортових автоматизованих систем управління такий поділ використовується.

Машини керування артилерійського дивізіону завжди розроблялись на базі тогочасних інформаційних технологій. Існуючі в Збройних Силах України машини управління артилерійськими підрозділами не відповідають вимогам сьогодення, їм притаманні: низький рівень інформаційного обміну і автоматизації обчислень, відсутність автоматизованих систем навігації і топоприв'язки, відсутність автоматизованого одержання інформаційно-аналітичної інформації, відсутність засобів автоматизованого забезпечення ведення бойових дій, що є основою сучасних АСУ тактичної ланки (ТЛ).

Відомо, що нинішній стан технологічної бази українського воєнно-промислового комплексу (ВПК) через десятиліття застою не дозволяє широкомасштабно і негайно вивести рівень озброєння Збройних Сил на необхідний рівень. Існуючий на сьогодні потенціал підприємств-розробників, що залишився у ВПК, необхідно сконцентрувати на створенні максимально уніфікованих у апаратному забезпеченні і обслуговуванні засобів, що матимуть, за можливістю, міжвидове призначення.

Головна **мета** статті полягає в тому, що пропонувані авторами науково-інженерні рішення з апаратного забезпечення машин управління артилерійським дивізіоном, а також самі машини можуть бути використані (як завершені і випробувані) розробниками машин управління для інших зразків озброєння Сухопутних військ.

При вирішенні задач автоматизації управління артилерійським дивізіоном на першій стадії необхідно базуватись на існуючій організаційно-штатній структурі, статутах, настановах з бойової роботи та ін. [2, 3, 4].

При проектуванні апаратури комплексу для машин і самих машин виникають протиріччя між глибиною автоматизації процесів керування в реальному часі системами машини і одночасної необхідності наявності розвинутих технічних засобів, що розширюють можливості екіпажу з отримання і обробки інформації, у першу чергу, у галузі рішення обчислювальних, навігаційних задач та міжмашинної взаємодії.

Оптимальне виконання цієї функції можемо досягнути через створення апаратури автоматизації процесів керування як окремою машиною, так і комплексом управління в цілому, тобто створення можливості безперервного процесу отримання, обробки і передачі даних у рамках цілісної системи управління тактичною ланкою.

Тому основна увага при створенні машин була спрямована на створення відсутніх сучасних апаратно-програмних засобів обробки даних, апаратури внутрішнього зв'язку та передачі даних, засобів зовнішнього зв'язку, впровадження автоматичних систем навігації і топоприв'язки. Відповідно, були також новостворені системи енерго- та життєзабезпечення машин, що враховували всі вимоги використання нових апаратно-програмних засобів сучасного етапу [5–8].

Основними функціями пропонованого варіанта технічних засобів для командно-штабних машин (КШМ) артилерійського дивізіону є: автоматизоване виконання повного набору вогневих задач, формування, передача і прийом телекодів повідомлень в цифровій формі, автоматизована топоприв'язка, можливість розгортання апаратури системи на будь-якому виді транспортного засобу або бойової броньованої машини, глибоке автоматизоване тестування систем у випадку відмови. Автоматизована система обробки даних складається з поєднаних у єдину інформаційну базу даних робочих місць

екіпажу (кількість залежить від організаційно-штатної структури підрозділу), що розміщається на гусеничній або колісній платформі. Кожна з рухомих платформ (гусенична або колісна), у свою чергу, обладнана засобами енергозабезпечення (у тому числі виносними) від основного енергоагрегату, автономного енергоагрегату, буферного акумулятора, автоматизованою системою управління електроживленням, засобами підтримки кліматичних умов (кондиціонування, обігріву, вентиляції), приладами радіаційно-хімічного аналізу.

На рис. 1 показаний ряд новоствореної апаратури керування електроживленням та життєзабезпеченням, що уніфікована для використання на гусеничних або колісних платформах.

Передача даних в автоматизованій системі комплексу проводиться шляхом використання протоколів інформаційного обміну та криптографічного захисту.

Розподілена архітектура обчислювального середовища та уніфікована побудова обчислювальних засобів машин управління значно підвищують їх технічну

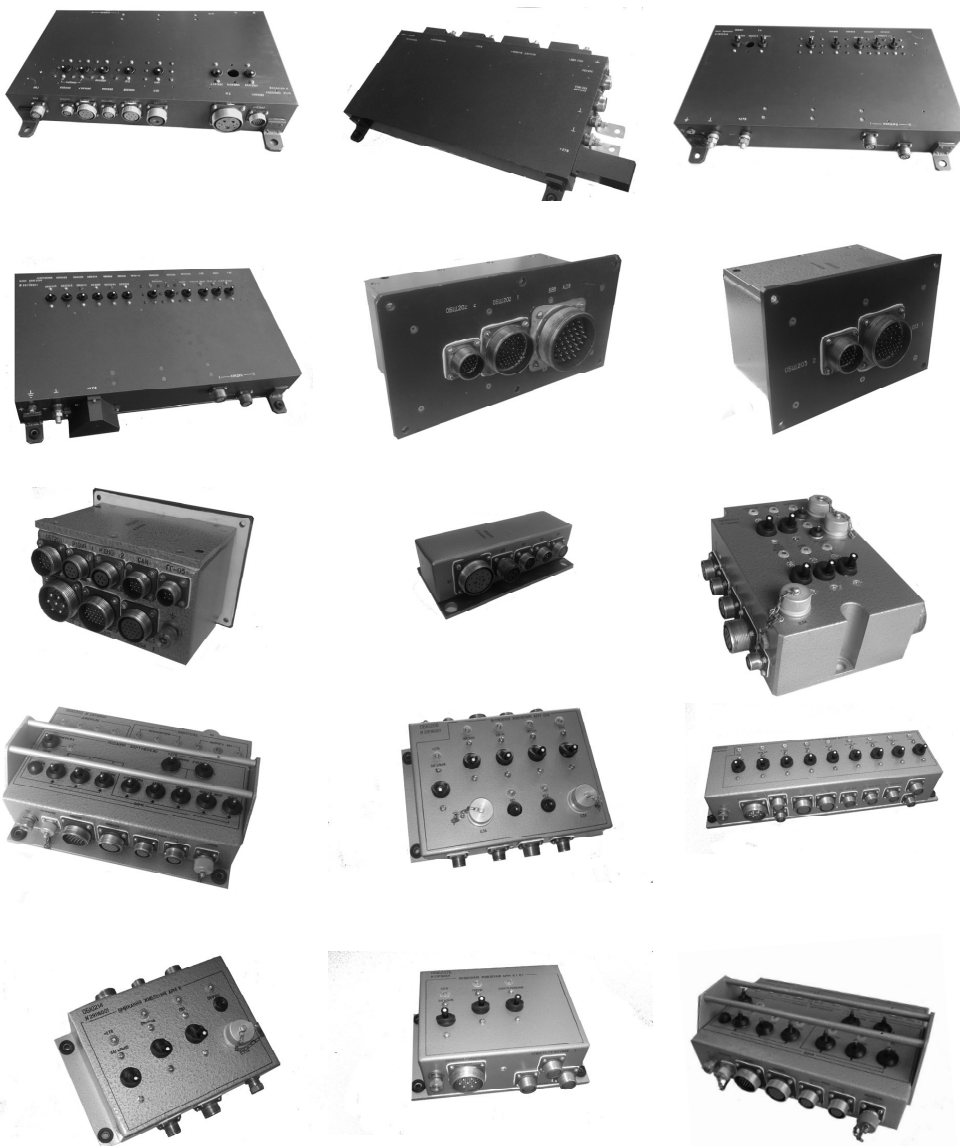


Рис. 1 Уніфікована апаратура подачі, управління та контролю електроживлення систем машини управління

надійність і живучість, а також дозволяє нарощувати її кількість та функції шляхом дооснащення уніфікованою апаратурою та відповідним програмним забезпеченням.

Основою обчислювальних засобів для машин управління є розроблений уніфікований малогабаритний бортовий комп'ютер, в якому враховані можливі варіанти його використання в АСУ ТЛ для командно-штабних машинах різних типів та на різних рухомих платформах. Стійкість до кліматичних та механічних факторів підтверджена повним циклом випробувань. Основні технічні характеристики уніфікованого бортового комп'ютера наведені в табл. 1

Таблиця 1

Процесор	1,86 ГГц
Операційна система	Windows 7
Екран	10.1 (11)
Комунікація	8xRS232, 2xEthernet, 2xUSB, Micro SD, AUDIO, 1xVGA
Робоча температура	-32°C ... +55°C
Конструкція	Гр. 1.7, 1.8 УХЛ ГОСТ B20.39.304-76

Зовнішній вигляд основних складових бортового комп'ютера показаний на рис. 2



Рис. 2. Уніфікований бортовий комп'ютер для автоматизованих робочих місць

Для забезпечення комунікації цифрового зв'язку по існуючих провідних засобах на фоні голосового зв'язку розроблений уніфікований ряд модемів, що дозволяють забезпечити цифровий зв'язок по польових проводах на відстані до 10 км і тим самим мати єдиний інформаційний простір машин управління з використанням провідних каналів зв'язку на базі польового кабелю П-274М. Технічні характеристики такої апаратури передачі цифрових даних наведені в табл. 2

Одним з основних елементів, що забезпечує криптозахист інформації, яка циркулює в системі АСУ комплексу машин управління та передається через радіостанції або польовим кабелем, є апаратура шифрування даних (шифропроцесор).

Таблиця 2

Швидкість передачі	(9,6; 19,2) кБіт/с
Комунікація	1 RS232
Кількість ліній	1,2,8 П-274М
Робоча температура	-40°C, +55°C
Конструкція	1.7, 1.8 УХЛ ГОСТ B20.304-76



Рис. 3. Апаратура передачі даних по польових кабелях

Технічні характеристики системи шифрування наведені в табл. 3

Таблиця 3

Алгоритм криптографічного перетворення	згідно з ДСТУ ГОСТ 28147-2009
Алгоритм вироблення/перевірки підпису	згідно з ДСТУ 4145-2002
Алгоритм обчислення хеш-функції	згідно з ГОСТ 34.311-95
Апаратна реалізація генератора випадкових послідовностей	2 ⁻³²
Швидкість шифрування	до 2 Мбіт/с
Комунікація	USB2.0
Потужність споживання	не більше 5 Вт
Робоча температура	-40°C ... +55°C
Конструкція	1.7, 1.8 УХЛ ГОСТ B20.304-76

Шифропроцесор є апаратним засобом реалізації криптографічних алгоритмів перетворення інформації. До складу входить окремий портативний носій ключової інформації, який використовується для зберігання ключів шифрування. Шифропроцесор є зовнішнім пристроєм для бортового комп'ютера.

Для автоматизованого управління бойовою роботою батареї або окремих гармат необхідно в інформаційній базі даних постійно мати інформацію про власне місцезнаходження та орієнтацію машини з точністю азимута



Рис. 4. Система шифрування даних (носії ключової інформації, підключений до блока шифрування)

осі машини не гірше 00-02 д. к. Для автоматичного отримання та обчислення таких даних в комплекс технічних засобів машин управління включена комплексована система навігації, що отримує інформацію про місцеположення від супутникової системи, а при відсутності сигналів від супутників або їх недостатньої кількості (менше 4) самостійно в автономному режимі обчислює необхідні навігаційні параметри, використовуючи власний набір датчиків, встановлених на борту машини. Технічні параметри системи навігації показані в табл. 4

Таблиця 4

Точність координат	±20 м
Точність азимута осі машини	00-02
Період обчислення даних	1 с
Робоча температура	–40°С...+55 °С
Конструкція	1.7, 1.8 УХЛ ГОСТ В20.304–76

На рис. 5 показані основні складові системи навігації машин управління, що також можуть бути встановлені в рухомі вогневі засоби (САУ).



Рис. 5. Основні складові системи навігації

Крім того, для кожної машини управління, незалежно від типу і виду рухомої платформи, розроблені виносні комплекти апаратури, що дозволяє автономно, без машини, вирішувати визначене коло задач з керування вогнем батарей (батарей), зберігаючи при цьому достатній цифровий інформаційний та голосовий зв'язок із цілою системою комплексу.



Рис. 6. Виносний комплект апаратури управління

Використовуючи новостворений уніфікований ряд технічних засобів розроблені та виготовленні командно-штабні машини (КШМ) для артилерійського дивізіону. Загальний вигляд одного з варіантів компоновки апаратури в гусеничній платформі та в кузові-фургоні колісної платформи зображені на рис. 7 та 8.



Рис. 7. Варіант компоновки частини технічних засобів на гусеничній платформі



Рис. 8. Варіант компоновки частини технічних засобів на колісній платформі

Висновки:

1. Створений цілісний ряд технічних засобів, уніфікованих для двох типів рухомих платформ (гусеничних та колісних), що придатні для побудови командно-штабних машин інших видів озброєння тактичної ланки Сухопутних військ.

2. На основі розроблених технічних засобів для КШМ артилерійського дивізіону можливо в короткі терміни провести модернізацію самохідних артилерійських та мінометних систем, а на базі виносних комплектів провести модернізацію причепних систем артилерії та інших вогневих засобів.

3. Розроблені варіанти КШМ для артилерійського дивізіону та їх оснащення базовими технічними засобами дозволяє використання їх як рухомі платформи при створенні машин управління для інших видів озброєння.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Развитие функциональных свойств и технических средств семейства военных гусеничных машин тактического звена [Текст] / Л. Н. Ильин [и др.] // Вестник АВН. – 2010. – № 3. – С. 110–117.
2. Правила стрільби і управління вогнем артилерії. Група, дивізіон, батарея, взвод, гармата [Текст]. – К. : Варта, 1995.
3. Боевой устав артиллерии Сухопутных войск. Ч. II. Дивизион, батарея, взвод, орудие [Текст]. – М. : Воениздат, 1990.
4. Стрельба и управление огнем артиллерийских подразделений [Текст]. – М. : Воениздат, 1987.
5. Шаравов, И. К. К вопросу об информационной войне и информационном оружии [Текст] / И. К. Шаравов // Зарубежное военное обозрение. – 2000. – № 10. – С. 2–5.
6. Паршин, С. Современные тенденции в совершенствовании системы управления вооруженными силами ведущих зарубежных стран в информационную эпоху [Текст] / С. Паршин, Ю. Кожанов // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 6. – С. 3–10.
7. Кучеренко, Ю. Ф. Основні шляхи розвитку систем управління військами та зброєю на сучасному етапі [Текст] / Ю. Ф. Кучеренко, О. М. Гузько // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – № 4 (16). – С. 73–76.
8. Оліярник Б.О., Євтушенко К.С. Програмно-апаратний комплекс уніфікованих засобів керування для машин управління та вогневих засобів артилерії [Текст] / Б. О. Оліярник, К. С. Євтушенко // Проблеми координації військово-технічної політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки : матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції. 12–13 жовтня 2016, Київ. – С. 158–160.

Рецензент С. В. Лапицький, д-р техн. наук, проф. (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

УДК 624.21.033

О. В. ШКВАРСЬКИЙ,

науковий співробітник

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

Розрахунок військового низьководного мосту на горизонтальне навантаження

Проведено дослідження роботи дерев'яної мостової споруди при дії гальмівних навантажень. Під час будівництва військових низьководних мостів та при подальшій їх експлуатації проводились експериментальні дослідження роботи конструкції елементів мосту на дію горизонтальних навантажень. На підтвердження експериментальних досліджень були проведені розрахунки конструктивних систем мосту, що зводились до розрахунків багатоконтурних плоских рам на основі методів будівельної механіки. З'ясовано, що при початковій дії навантаження на одному з прольотів мосту зусилля сприймаються лише двома сусідніми рядами опор мосту. Коли величина горизонтального переміщення становила 4 см і більше, в роботу включалися наступні суміжні ряди опор конструкції мосту.

Ключові слова: водні перешкоди; гальмівне навантаження; епюра згинальних моментів; паля.

Проведены исследования работы деревянных мостовых сооружений при действии тормозных нагрузок. При строительстве военных низьководных мостов и дальнейшей их эксплуатации проводились экспериментальные исследования работы конструкции элементов моста на действие горизонтальных нагрузок. Для подтверждения экспериментальных исследований были проведены расчеты конструктивных систем моста, которые сводились к расчетам многоконтурных плоских рам на основе методов строительной механики. Обнаружено, что при начальном действии нагрузки на одном из пролетов моста нагрузки воспринимаются только двумя соседними рядами опор моста. Когда величина горизонтального перемещения была равна 4 см и больше, в работу включались следующие соседние ряды опор конструкции моста.

Ключевые слова: водные преграды; тормозная нагрузка; эпюра изгибающих моментов; свая.

Проблемам подолання військами водних перешкод приділялась та приділяється значна увага як в нашій країні, так і в провідних країнах світу. Це пов'язано, у першу чергу, з тим, що останніми роками зросла кількість збройних конфліктів у різних регіонах світу. Їх характерною особливістю є руйнування інфраструктури, зокрема стратегічних об'єктів, таких як мости. Тільки за період проведення антитерористичної операції (АТО) на території Донецької та Луганської областей було зруйновано 34 мости (мостові переходи) [1].

Виконання завдань військовими частинами в умовах руйнування стратегічних об'єктів незаконними збройними формуваннями та диверсійно-розвідувальними групами противника потребують якісного інженерного забезпечення. Одним з основних завдань інженерного забезпечення дій військових частин є подолання водних перешкод, що зустрічаються на маршрутах пересування.

Проведений аналіз досвіду інженерного забезпечення в ході проведення АТО на сході країни показує, що існуючі підходи до інженерного забезпечення подолання водних перешкод при пересуванні військ у операціях та при проведенні відновлювальних робіт на пошкоджених мостах призводять до швидкого виведення з ладу штатних механізованих мостових споруд, що не призначені для тривалого стаціонарного використання на водній перешкоді. Їх відновлення потребує значних фінансових ресурсів та часу, посилюючи таким чином проблему невідповідності між наявністю та потребою у відповідних засобах подолання водних перешкод. Тобто постає актуальна наукова проблема пошуку та обґрунтування можливості часткової заміни штатних механізованих мостових споруд при побудові мостових переправ на більш прості та менш вартісні в експлуатації конструкції мостових переходів. Одним з можливих варіантів таких конструкцій є військові низьководні мости. Незважаючи на більш тривалий час для їх встановлення в порівнянні з механізованими засобами, вони мають такі переваги, як простота спорудження, низькі витрати та порівняно висока тривалість експлуатації на водних перешкодах, легкість відновлення при пошкодженнях у ході ведення бойових дій.

Метою даної роботи є розгляд конструкції військового низьководного мосту та аналіз її просторової стійкості за рахунок роботи поздовжніх затяжок при дії горизонтальних навантажень.

Проблематика побудови конструкцій військових низьководних мостів розглянута в роботах М. А. Козлова, Г. А. Кобікова, В. А. Ключарева, А. А. Муратова, Н. А. Нивина, І. Ф. Лисухіна, В. А. Поліщука, І. П. Шаповала та інших вчених [2, 3, 4, 5].

За кордоном застосування військових низьководних мостів в ході ведення бойових дій не розглядається. Командування НАТО вважає достатньою наявну кількість штатних механізованих засобів подолання водних перешкод для успішного виконання завдань [6] та не планує їх застосування в ситуаціях, що не передбачені їх призначенням (зокрема, для довготривалої заміни стаціонарних мостових споруд) [7].

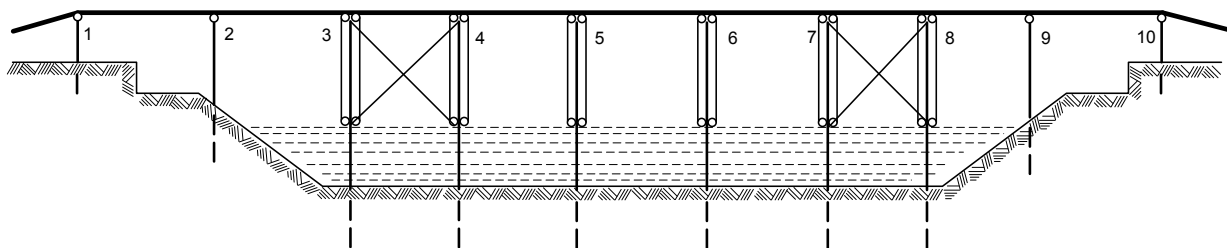


Рис. 1

Для розгляду стійкості військових низьководних мостів (рис. 1) при дії гальмівних навантажень необхідно задати вихідні дані. У даній роботі з метою проведення математичних розрахунків були використані такі вихідні дані:

розрахункова довжина стійок (див. рис. 1): $L_1=0,45$ м; $L_2=2,0$ м; $L_3=3,75$ м; $L_4=4,1$ м; $L_5=4,1$ м; $L_6=4,1$ м; $L_7=3,95$ м; $L_8=3,8$ м; $L_9=3,3$ м; $L_{10}=0,6$ м;

гальмівне навантаження $T = 0,4\theta$, $\theta = 36$ т; $T = 0,4 \times 36 = 14,4$ т;

діаметр паль (стійок) – 20 см, $J_x = 7854$ см⁴;

переріз затяжок прямокутний 50×200 ,

$$J_x = \frac{20 \cdot 5^3}{12} = 208,3 \text{ см}^4;$$

модуль поздовжньої пружності $E = 10000$ кг/см².

Розрахунок складної конструктивної схеми мосту, зображеної на рис. 1, зводиться до розрахунків плоскої рами на основі методів будівельної механіки [8, 9, 10, 11]. Враховуючи, що у вузлах немінучі проміжки і при спільній роботі цілого ряду паль навантаження розподіляється пропорційно жорсткості, прийнята така послідовність розрахунку:

1. Визначаються внутрішні силові фактори в усіх елементах прольоту, що мають поздовжні затяжки (прогін обмежений стійками 3–4 або 7–8).

2. Визначається горизонтальне переміщення $\Delta_{гор}$ рами на рівні проїзної частини.

3. Якщо $\Delta_{гор} > 4$ см, то розраховується рама, яка складається з чотирьох стійок: 2, 3, 4, 5 або 6, 7, 8, 9 (див. рис. 1).

За попередніми експериментальними даними виявлено, що при гальмуванні танка на мосту існують проміжки між прольотами, що дорівнюють приблизно 4 см. Ці проміжки з'являються через неточність побудови і збирання мостової споруди, а також пом'якшення стикових з'єднань після руху по мосту. Інакше кажучи, горизонтальну динаміку мосту можна описати таким чином: при гальмуванні танка на одному з прольотів мосту все горизонтальне навантаження сприймається двома опорами цього прольоту, потім, після переміщення прольоту на 4 см, навантаження передається на сусідні з обох боків дві опори. Після переміщення конструкції мосту вже з чотирьох опор знову на 4 см в роботу включаються ще дві сусідні опори і так далі.

1. Так як пальовий ряд (опора) містить по 4 палі, то для визначення внутрішніх силових факторів у всіх елементах прольоту, що мають поздовжні зв'язки, розраховуємо діючу на плоску раму горизонтальну силу, що виникає від гальмівного навантаження:

$$T_1 = \frac{1}{4} T = \frac{14,4}{4} = 3,6 \text{ т}.$$

Ступінь статичної невизначеності (рис. 2)

$$C = 3K - III = 3 \cdot 2 - 2 = 4.$$

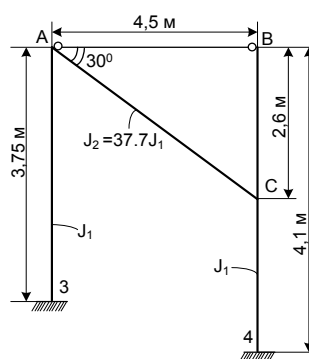


Рис. 2

Рама чотири рази статично невизначена.

Розрахунок проводимо методом сил. Вибираємо основну систему, відкидаючи зайві затяжки (рис. 3).

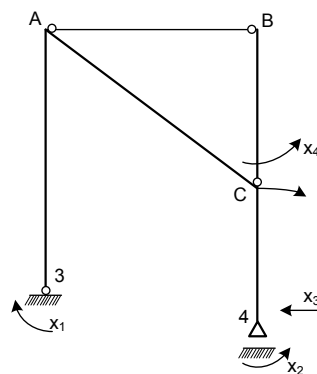


Рис. 3

Будуємо епюри згинальних моментів M_p (рис. 4, f) і від одиничних невідомих (рис. 4, a–d)

Складемо рівняння, що виражають умову рівності нулю переміщення за напрямком обраних невідомих x , отримаємо систему канонічних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} x_1 \delta_{11} + x_2 \delta_{12} + x_3 \delta_{13} + x_4 \delta_{14} + \Delta 1 p &= 0 \\ x_1 \delta_{21} + x_2 \delta_{22} + x_3 \delta_{23} + x_4 \delta_{24} + \Delta 2 p &= 0 \\ x_1 \delta_{31} + x_2 \delta_{32} + x_3 \delta_{33} + x_4 \delta_{34} + \Delta 3 p &= 0 \\ x_1 \delta_{41} + x_2 \delta_{42} + x_3 \delta_{43} + x_4 \delta_{44} + \Delta 4 p &= 0 \end{aligned} \right\}.$$

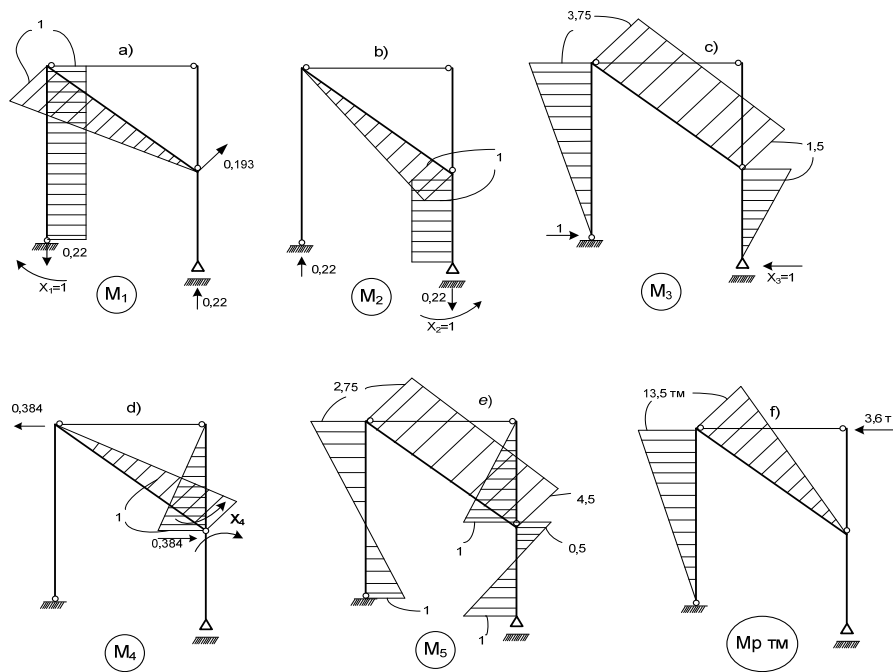


Рис. 4

Визначаємо одиничні переміщення

$$\delta_{ii} = \sum_n \int_0^s M_i^2 \frac{ds}{EJ}, \quad \delta_{ik} = \delta_{ki} = \sum_0^s M_i M_k \frac{ds}{EJ}.$$

Визначаємо вантажні члени

$$\Delta = \sum_n \int_0^s M_i M_p \frac{ds}{EJ}.$$

Побудувавши сумарну одиничну епюру M_s , обчислюємо сумарні переміщення

$$\Delta_{is} = \sum \int \frac{M_i M_s}{EJ_1} dx = \sum \delta_{ii} + \delta_{i1} + \delta_{i2} + \delta_{i3} + \delta_{i4}.$$

Підставляємо розраховані коефіцієнти і вільні члени в систему канонічних рівнянь, отримуємо

$$\left. \begin{aligned} 3,796x_1 + 0,0229x_2 - 7,238x_3 - 0,0229x_4 - 25,934 &= 0 \\ 0,0229x_1 + 1,546x_2 - 1,28x_3 - 0,0459x_4 - 0,310 &= 0 \\ -7,238x_1 - 1,28x_2 + 19,676x_3 + 0,155x_4 + 66,115 &= 0 \\ -0,0229x_1 - 0,0459x_2 + 0,155x_3 + 0,8792x_4 + 0,310 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Систему рівнянь розв’язуємо за допомогою алгоритму Гауса.

Будуємо дійсну епюру згинальних моментів (рис. 5, е), використовуючи формулу

$$M_g = Mp + M_1x_1 + M_2x_2 + M_3x_3 + M_4x_4.$$

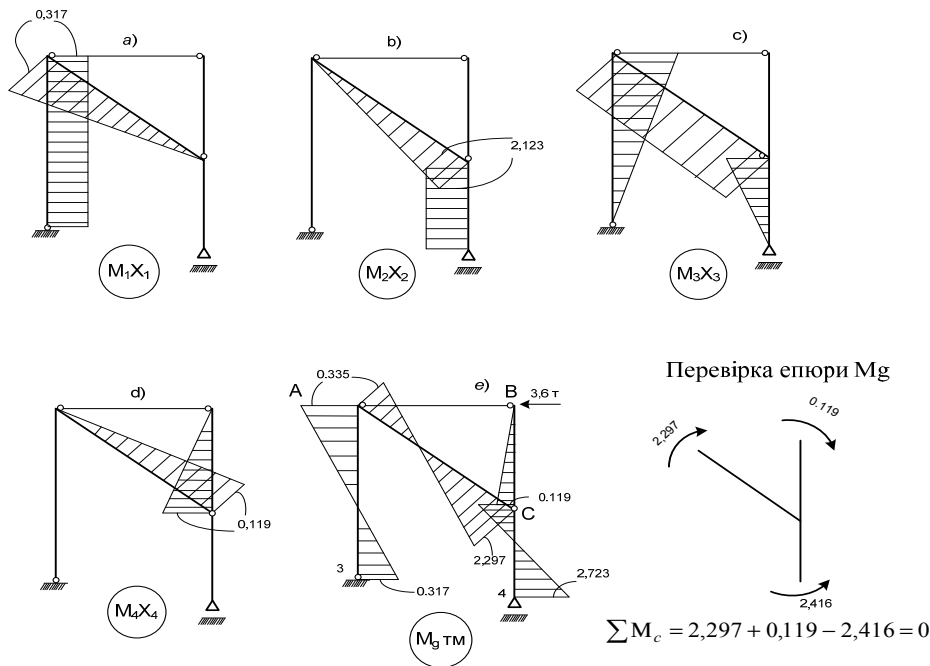


Рис. 5

2. Визначаємо горизонтальне переміщення рами. Вибираємо основну систему і прикладаємо $\bar{x} = 1$ (рис. 6)

$$\Delta_{\text{гор}} = \frac{l}{6EJ} [\bar{M}_1 \times Mg_3 + 4\bar{M}_1 \times Mg_{cp} + \bar{M}_g \times Mg_A].$$

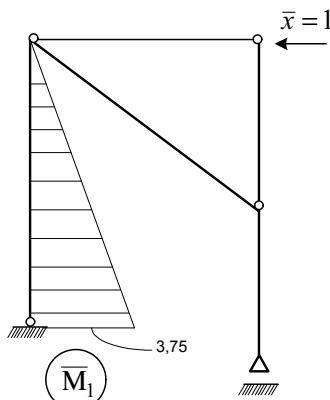


Рис. 6

3. Так як $\Delta_{\text{гор}} > 4$ см, то розраховуємо раму, яка складається з чотирьох стійок: 2, 3, 4, 5.

Для того щоб виявити залежність між перерізом поздовжніх затяжок і деформаціями мосту, прийmemo жорсткість затяжок, що дорівнює жорсткості стійок:

$$EJ_1 = EJ_2.$$

Повторюємо розрахунок за раніше обраною основною системою (рис. 3).

Визначаємо одиничні переміщення

$$\delta_{ii} = \sum_n \int_0^s M_i^2 \frac{ds}{EJ_x}, \quad \delta_{ik} = \delta_{ki} = \sum_n \int_0^s M_i M_k \frac{ds}{EJ_x}.$$

Визначаємо вантажні члени

$$\Delta = \sum_n \int_0^s M_i M_p \frac{ds}{EJ_x}.$$

Побудувавши сумарну одиничну епюру M_s , розраховуємо сумарні переміщення

$$\Delta_{1s} = \sum \int \frac{M_i M_s}{EJ} dx = \delta_{11} + \delta_{12} + \delta_{13} + \delta_{14}.$$

Підставляємо розраховані коефіцієнти і вільні члени в систему канонічних рівнянь, отримуємо

$$\left. \begin{aligned} 3,796x_1 + 0,0229x_2 - 7,238x_3 - 0,0229x_4 - 25,934 &= 0 \\ 0,0229x_1 + 1,546x_2 - 1,28x_3 - 0,0459x_4 - 0,310 &= 0 \\ -7,238x_1 - 1,28x_2 + 19,676x_3 + 0,155x_4 + 66,115 &= 0 \\ -0,0229x_1 - 0,0459x_2 + 0,155x_3 + 0,8792x_4 + 0,310 &= 0 \end{aligned} \right\}.$$

Систему рівнянь розв'язуємо за допомогою алгоритму Гауса.

Будуємо дійсну епюру згинальних моментів (рис. 7, е), використовуючи формулу

$$M_g = Mp + M_1x_1 + M_2x_2 + M_3x_3 + M_4x_4.$$

З метою отримання залежності горизонтальних переміщень Δ від величини гальмівного навантаження T_1 визначені коефіцієнти x при $T_1 = 1$ т; 2 т; 3 т; 4 т (табл. 1).

Таблиця 1

Коефіцієнти x	Горизонтальна сила T , т			
	1	2	3	4
x_1	0,26	0,56	0,78	1,04
x_2	-1,4	-2,8	-4,22	-5,7
x_3	-0,83	-1,66	-2,53	-3,38
x_4	-0,993	-1,99	-3,02	-4,02

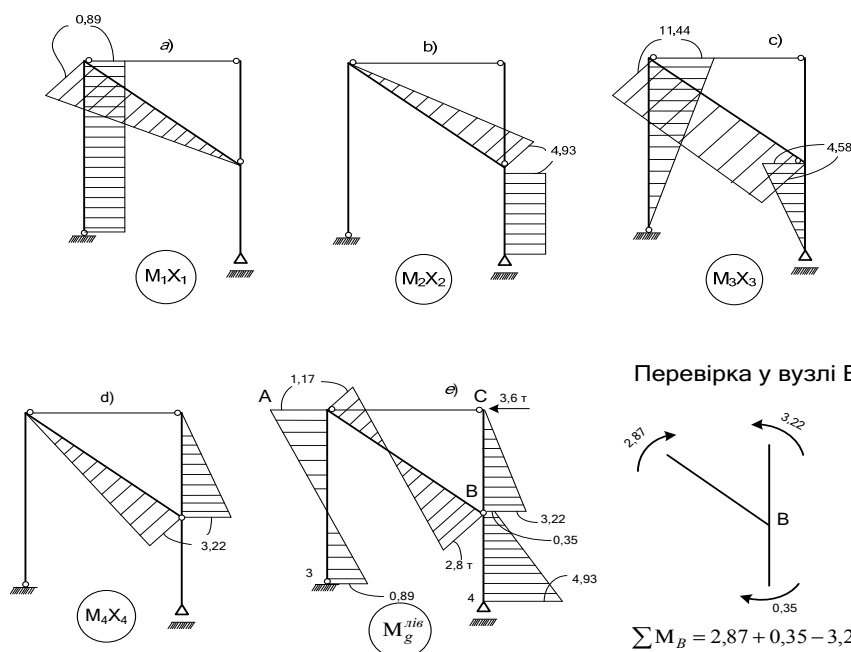


Рис. 7

Використовуючи епюру \overline{M}_1 і епюру M_g з розрахунком певних коефіцієнтів χ (табл. 2), визначаємо горизонтальні переміщення за формулою

$$\Delta = \frac{l}{6EJ} [\overline{M}_1 M_{g_3} + 4\overline{M}_{1_{cp}} M_{g_{cp}} + \overline{M}_{g_A} M_{g_A}].$$

Таблиця 2

T, τ	1	2	3	4
$\Delta_{гор}, \text{см}$	3,98	11,7	19,1	26,6

За даними табл. 2 побудовано на рис. 8 графік залежності горизонтальних переміщень від навантаження T_1 .

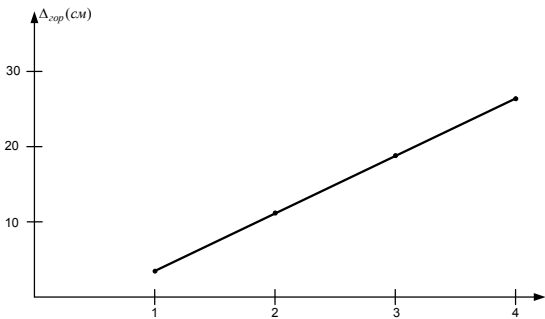


Рис. 8

Ступінь статичної невизначеності (рис. 9) $C = 3K - III = 3 \cdot 4 - 6 = 6$. Рама шість разів статично невизначена.

Вибираємо основну систему, відкидаючи зайві заťažки (рис. 10).

Будуємо епюри моментів M_p (рис. 11, h) і від одичних невідомих (рис. 18, $a-f$).

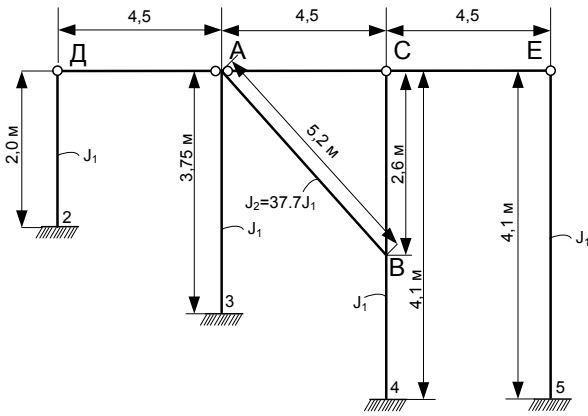


Рис. 9

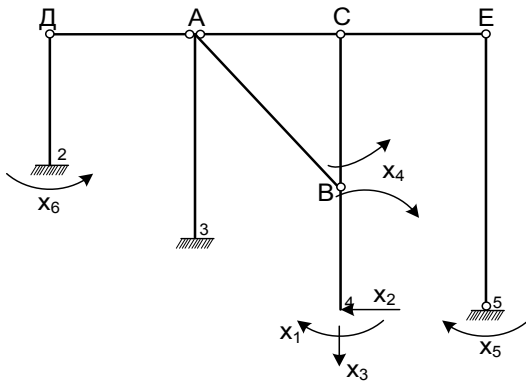


Рис. 10

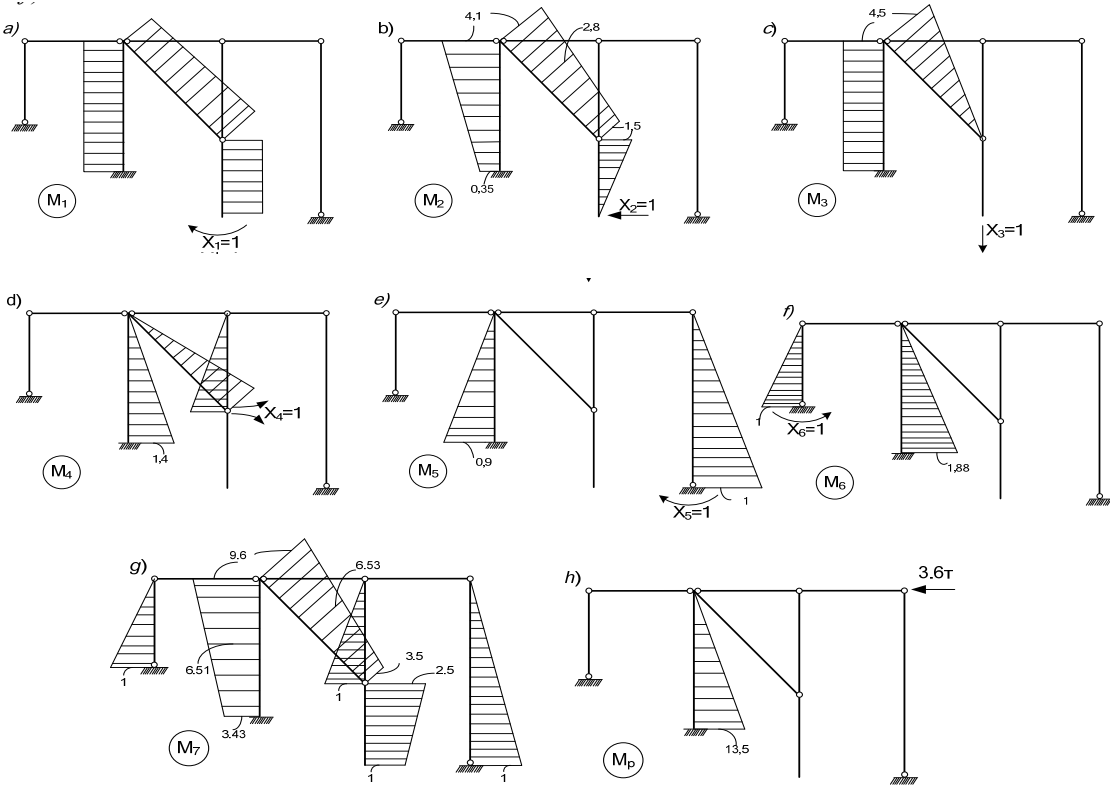


Рис. 11

Складемо рівняння, що виражає умови рівності нулю переміщень по напрямку вибраних невідомих x , отримаємо систему канонічних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} x_1\delta_{11} + x_2\delta_{12} + x_3\delta_{13} + x_4\delta_{14} + x_5\delta_{15} + x_6\delta_{16} + \Delta_{1p} &= 0 \\ x_1\delta_{21} + x_2\delta_{22} + x_3\delta_{23} + x_4\delta_{24} + x_5\delta_{25} + x_6\delta_{26} + \Delta_{2p} &= 0 \\ x_1\delta_{31} + x_2\delta_{32} + x_3\delta_{33} + x_4\delta_{34} + x_5\delta_{35} + x_6\delta_{36} + \Delta_{3p} &= 0 \\ x_1\delta_{41} + x_2\delta_{42} + x_3\delta_{43} + x_4\delta_{44} + x_5\delta_{45} + x_6\delta_{46} + \Delta_{4p} &= 0 \\ x_1\delta_{51} + x_2\delta_{52} + x_3\delta_{53} + x_4\delta_{54} + x_5\delta_{55} + x_6\delta_{56} + \Delta_{5p} &= 0 \\ x_1\delta_{61} + x_2\delta_{62} + x_3\delta_{63} + x_4\delta_{64} + x_5\delta_{65} + x_6\delta_{66} + \Delta_{6p} &= 0 \end{aligned} \right\}.$$

Визначаємо одиничні переміщення

$$\delta_{ii} = \sum_n \int_0^s M_i^2 \frac{ds}{EJ}, \quad \delta_{ik} = \delta_{ki} = \sum_n \int_0^s M_i M_k \frac{ds}{EJ}.$$

Визначаємо вантажні члени

$$\Delta = \sum_n \int_0^s M_i M_p \frac{ds}{EJ}.$$

Побудувавши сумарну одиничну епюру M_s , перевіримо вірність визначення коефіцієнтів δ :

$$\Delta_{is} = \sum_n \int_0^s \frac{M_i M_s}{EJ} ds = \sum \delta_{in}.$$

Підставляємо розраховані коефіцієнти і вільні члени в систему канонічних рівнянь, отримуємо

$$\left. \begin{aligned} 5,39x_1 + 9,87x_2 + 17,19x_3 - 2,64x_4 + 1,69x_5 - 3,53x_6 - 25,31 &= 0 \\ 9,87x_1 + 25,23x_2 + 38,55x_3 - 4,16x_4 + 2,7x_5 - 5,64x_6 - 40,5 &= 0 \\ 17,19x_1 + 38,55x_2 + 78,87x_3 - 12,05x_4 + 7,59x_5 - 15,86x_6 - 113,9 &= 0 \\ -2,64x_1 - 4,16x_2 - 12,05x_3 + 3,5x_4 - 1,62x_5 + 3,38x_6 + 24,3 &= 0 \\ 1,69x_1 + 2,7x_2 + 7,59x_3 - 1,62x_4 + 2,38x_5 - 2,12x_6 - 15,19 &= 0 \\ -3,53x_1 - 5,64x_2 - 15,86x_3 + 3,38x_4 - 2,12x_5 + 5,09x_6 + 31,73 &= 0 \end{aligned} \right\}.$$

$$x_1=3,9; x_2=-4,22; x_3=3,36; x_4=0,98; x_5=0,67; x_6=2,91.$$

Будуємо дійсну епюру згинальних моментів за формулою

$$M_g = M_p + M_1x_1 + M_2x_2 + M_3x_3 + M_4x_4 + M_5x_5 + M_6x_6.$$

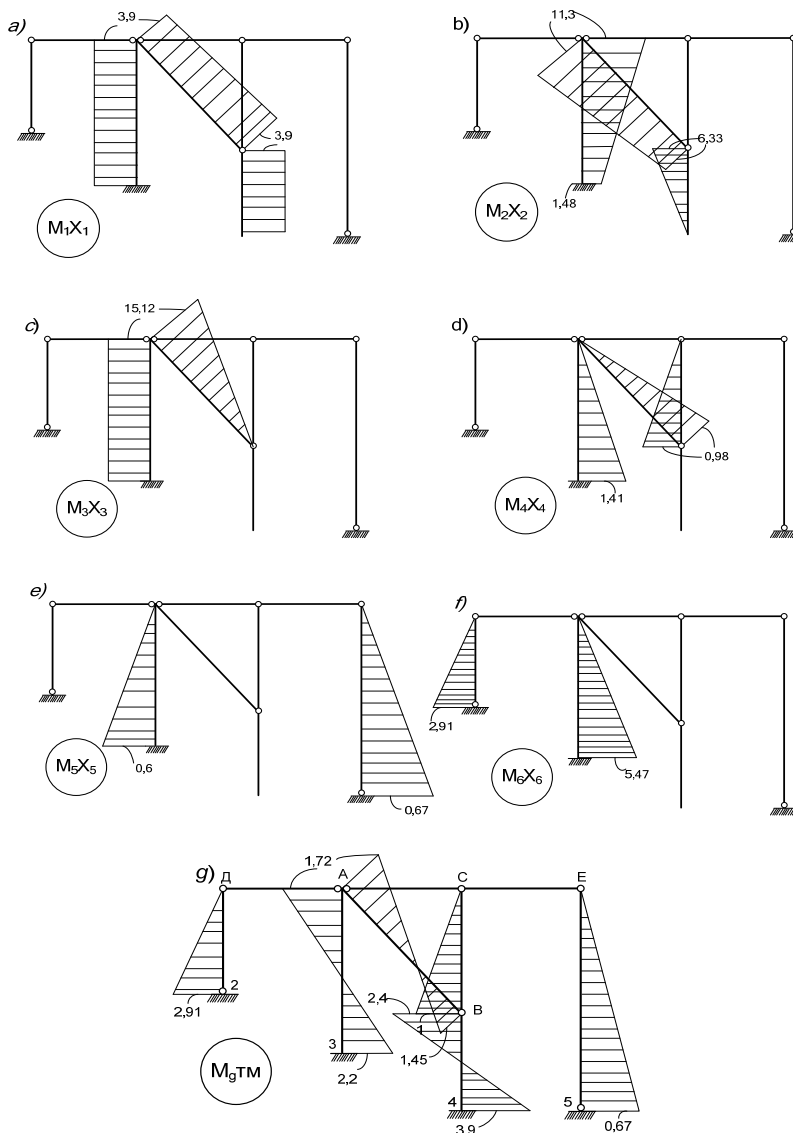


Рис. 12

Горизонтальне переміщення ригеля

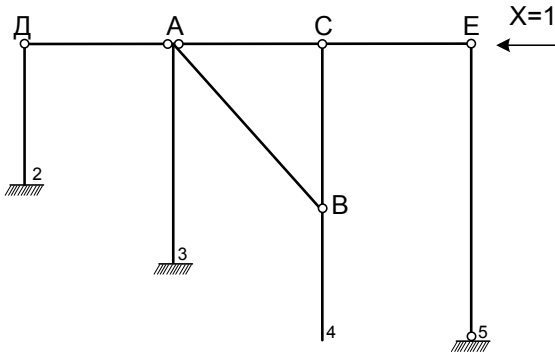


Рис. 13

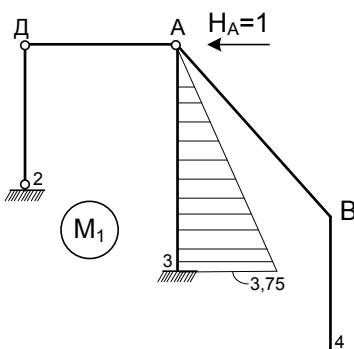
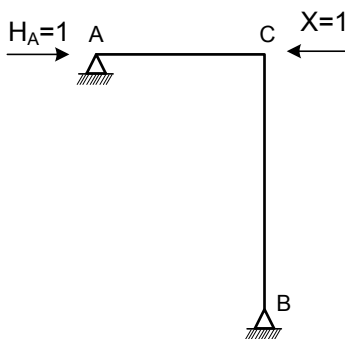
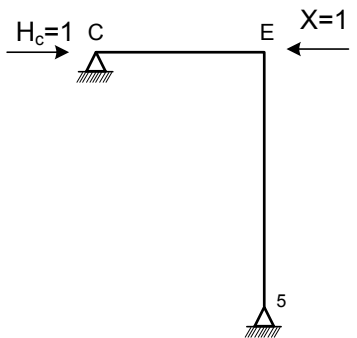


Рис. 14

$$\Delta_{\text{гор}} = \int \frac{M_1 M_g}{EJ_x} dx.$$

Таким чином, загальна горизонтальна жорсткість рами, що має горизонтальні затяжки, може бути визначена так:

$$K_{1\text{гор}} = \frac{P}{\Delta_1} = \frac{3,6}{23,8} = 0,151 \text{ т/см.}$$

Горизонтальна жорсткість рами з чотирьох стійок

$$K_{2\text{гор}} = \frac{P}{\Delta_1} = \frac{3,6}{7,3} = 0,49 \text{ т/см.}$$

Враховуючи, що горизонтальна жорсткість рам змінюється лінійно, нескладно розрахувати жорсткість рами, що складається з 6 стійок.

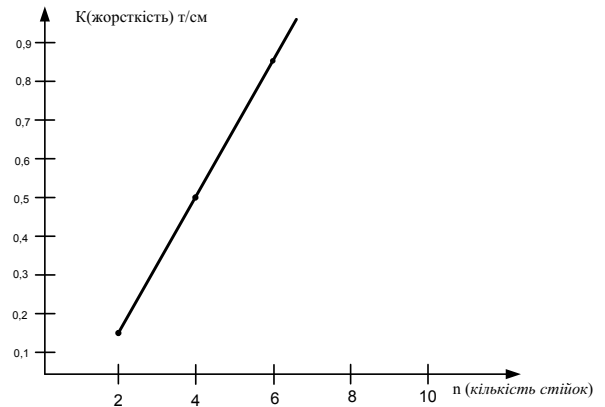


Рис. 15

Визначивши з графіка на рис. 15 $K_{3\text{гор}}$ горизонтальну жорсткість рами, що складається з шести стійок, за залежністю $K_{3\text{гор}} = \frac{P}{\Delta_3}$, визначаємо горизонтальне переміщення

$$\Delta_3 = \frac{P}{K_{3\text{гор}}} = \frac{3,6}{0,85} = 4,20 \text{ см.}$$

Виходячи з описаної раніше роботи мосту і використовуючи отримані теоретичні дані, на рис. 16 показані графіки горизонтальних переміщень опор мосту по його довжині.

Висновки:

1. Як показали теоретичні розрахунки, жорсткість поздовжньої затяжки суттєво не впливає на горизонтальні переміщення мосту, хоча її наявність забезпечує загальну просторову стійкість мосту в цілому.

2. Горизонтальні переміщення опор мосту за величиною зменшуються у міру віддалення від прольоту, де здійснюється гальмування танка (див. рис. 16).

3. Закон розподілу величин горизонтальних переміщень опор за своїм характером співпадає з переміщеннями, що спостерігаються при експериментальних дослідженнях.

4. Отримані теоретичні результати розрахунку мосту як плоскої системи співпадають з величинами переміщень, отриманих при експериментальних дослідженнях роботи конструкції мосту при дії горизонтальних навантажень.

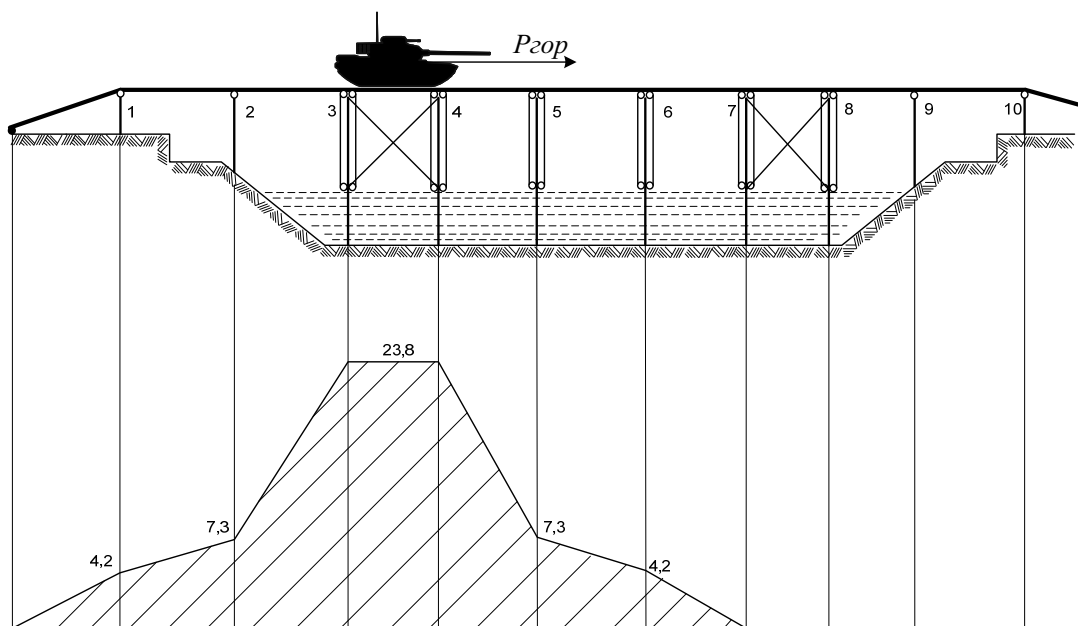


Рис. 16

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лист заступника начальника Об'єднаного оперативного штабу Збройних Сил України № 313/5/2313 від 24.03.2016 щодо кількості зруйнованих постійних мостових споруд та знищених механізованих мостів, які використовуються у Збройних Силах України для забезпечення подолання перешкод, за час проведення антитерористичної операції на території Донецької та Луганської областей [Текст].
2. Военные мосты на жестких опорах [Текст] / М. А. Козлов, В. А. Ключарьев, Г. А. Кобиков [и др.]. – М. : ВИА, 1974. – 65 с.
3. Военные мосты на жестких опорах [Текст] : руководство. – М. : Воениздат, 1982. – 119 с.
4. Колибернов, Е. С. Инженерное обеспечение боя [Текст] / Е. С. Колибернов, В. И. Корнев, А. А. Сосков ; под ред. Е. С. Колибернова. – [2-е изд.]. – М. : Воениздат, 1988. – С. 185–229.
5. Лысухин, И. Ф. Инженерное обеспечение форсирования рек [Текст] / И. Ф. Лысухин. – М. : Воениздат, 1968. – 116 с.
6. Ахметов, Р. Р. Инженерные войска иностранных армий [Текст] / Р. Р. Ахметов. – Омск : СиБАДИ, 2011. – 102 с.
7. Инженерное обеспечение форсирования водных преград // Зарубежное военное обозрение [Электронный ресурс]. – 2014. – № 3. – Режим доступа: <http://www.zvo.su/suh>.
8. Лалетин, Н. В. Основания и фундаменты [Текст] / Н. В. Лалетин. – 2-е изд. – М. : Высш. шк., 1970. – 217 с.
9. Линович, Л. Е. Расчет и конструирование частей гражданских зданий [Текст] / Л. Е. Линович. – К. : Будівельник, 1972. – 664 с.
10. Величин, А. П. Справочник проектировщика инженерных сооружений [Текст] / А. П. Величин. – К. : Будівельник, 1973. – 552 с.
11. Дарков, А. В. Строительная механика [Текст] / А. В. Дарков. – М. : Высш. шк., 1976. – 607 с.

Рецензент В. В. Зубарєв, д-р техн. наук, проф.
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України, м. Київ)

УДК 623.983

А. В. ДЕРЕПА,*кандидат технічних наук, старший науковий співробітник**(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)*

Шляхи усунення невизначеності пеленгування системою «гідроакустична станція – надводний корабель» з гнучкими протяжними буксируваними антенами

Проведені дослідження щодо можливості підвищення ефективності гідроакустичної системи «гідроакустична станція – надводний корабель» з гнучкими протяжними буксируваними антенами шляхом усунення невизначеності пеленга.

Проведены исследования по возможности повышения эффективности гидроакустической системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с гибкими протяженными буксируемыми антеннами путем устранения неопределенности пеленга.

Оптимальним способом зниження перешкод роботі гідроакустичних станцій (ГАС), що створюються кораблем-носієм у системі «надводний корабель – гідроакустична станція» (ГАС-НК), є винесення гідроакустичних антен за межі корпусу корабля шляхом використання гідроакустичних антен, які розміщуються на значній відстані від корабля. Для приймально-випромінюючих антен звукового діапазону частот цей спосіб реалізується у вигляді так званих зосереджених антен (опускних або буксируваних) змінної глибини. Для антен низько-частотного діапазону спосіб реалізувався спочатку у вигляді гнучкої протяжної буксированої антени (ГПБА), а потім у вигляді комбінації буксированого випромінювача та ГПБА. Використання таких антен дозволяє оптимізувати умови пошуку цілей при різних гідроакустичних умовах, оскільки гідроакустична антена станції опускається на кабель-тросі на оптимальну глибину, під якою розуміється глибина розміщення осі підводного звукового каналу. Це обумовило істотне підвищення дальності виявлення цілей ГАС надводних кораблів [1].

ГАС з ГПБА широко застосовуються для озброєння надводних кораблів (НК) усіх провідних морських держав. ГАС з ГПБА мають переваги над ГАС з підкільними антенами за рівнем перешкод, за направленими властивостями, за масогабаритними характеристиками, за можливістю адаптації до акустико-гідрологічних умов у районі пошуку підводних цілей.

Шуми гвинтів спостерігаються в досить широкому діапазоні, а механізмів – у вузькому, у вигляді окремих дискретних частот. Спектральний аналіз шумів дозволяє не тільки визначити місцезнаходження підводної цілі та елементи її руху, але також досить точно ідентифікувати її та виявити державну приналежність. Зі збільшенням швидкості підводного човна (ПЧ) зростає інтенсивність складових її шумів у всьому діапазоні частот [2]. Однак максимум випромінювання припадає на низькочастотну область, де найбільша інтенсивність рівня випромінювання підводних цілей і мінімум втрат при їхньому поширенні. Аналіз співвідношення даних параметрів дав поштовх до початку розробки гідроакустичних станцій, що працюють у низькочастотному діапазоні (10–300 Гц). Виникла гостра необхідність підвищення точності шумопеленгування пасивних ГАС, достатньої для відпрацювання даних стрільби, а також вирішення проблеми прослуховування кормових курсових кутів надводного корабля, що перебувають в області гідроакустичної тіні. Реалізувати ці вимоги стало можливим за рахунок використання в гідроакустичних комплексах низькочастотних ГАС з ГПБА.

Конструктивно ГПБА є системою, що складається із з'єднаних між собою акустичних модулів, які містять гідрофони й електронні схеми попередньої обробки сигналів. Чутливість гідрофонів багато в чому визначається матеріалом, з якого вони виготовлені. У сучасних системах використовуються п'єзоелектрична кераміка та п'єзополімери. На обох кінцях гідрофонів секції антени встановлені спеціальні модулі, які поглинають вібрацію, що дозволяє значно підвищувати швидкість буксирування без зниження якості роботи.

Кожний гідрофон з'єднаний з кабель-буксиром, по якому сигнали через схеми попередньої обробки передаються на борт корабля, де проходять остаточну обробку в бортовій апаратурі або передаються в береговий центр обробка інформації.

У США типовим сучасним представником серійних ГАС з ГПБА є ГАС AN/SQR-19 встановлена на крейсерах УРО типу «Тайкондерога», ескадрених міноносцях УРО типу «Кід», есмінцях типу «Спрюенс» і фрегатах УРО типу «Олівер Х. Перрі».

У РФ розроблено та прийнято на озброєння ряд ГАС з ГПБА типу «Віньетка» для надводних кораблів. ГАС «Віньетка» призначена для озброєння НК, що виконують завдання протичовнової оборони, протиторпедного захисту, охорони акваторій, і спеціалізованих суден висвітлення підводної обстановки.

У ВМС Великобританії в 2004 році поставлена на озброєння ГАС 2087. Низькочастотна активно-пасивна гідроакустична станція з гнучкою протяжною буксированою антеною ГАС 2087 (інша назва CAPTAS-4) встановлена на 8 фрегатах УРО проекту 23 типу «Норфолк». На думку представників командування ВМС Великобританії, ГАС 2087 є одним з найбільш ефективних засобів такого типу в світі. Точність визначення ГАС 2087 місцезнаходження ПЧ достатня для точного націлювання протичовнових засобів вертолітного базування.

У європейських країнах НАТО успішно реалізується концепція LFDVS, що передбачає встановлення на озброєння НК низькочастотних активно-пасивних буксированих ГАС, що працюють у моностатичному режимі гідроакустичної. Збільшилась тенденція до зниження робочої частоти та з'явилися ГАС з ГПБА сімейства ACTAS «полегшеної» конструкції. У рамках концепції LFDVS фірмою «Тейлес» розроблена модифікація ГАС з ГПБА CAPTAS «Нано», яка призначена для встановлення на НК малої водотоннажності (рис. 1).

У зв'язку з тим, що випромінювання звуку здійснюється на низьких частотах, а розміри буксированого тіла-заглиблювача обмежують розміри випромінювача, останні в більшості випадків завжди менші довжини випромінюваної хвилі. Ця обставина обумовлює ненаправлене випромінювання звуку активною частиною гідроакустичної станції. З іншого боку, в режимі прийому гнучка протяжна буксирована антена як лінійна система має осову симетрію і формує характеристику направленості у вигляді тіла обертання, тобто у відповідних перерізах також формує ненаправлені властивості. При цьому виникає неоднозначність визначення пеленгу на ціль (ліво-правостороння невизначеність). Ця неоднозначність пеленга може бути усунена шляхом маневрування корабля-носія гідроакустичної станції. Наприклад, при здійсненні кораблем циркуляції вправо курсовий кут цілі, що знаходиться по лівому борту, збільшується, а курсовий кут цілі по правому борту зменшується. Таким чином визначається, по якому борту знаходиться ціль. Але для виконання такого маневру потрібний досить великий час. Крім того, потрібний значний час для відновлення лінійності гнучкої протяжної буксированої антени після завершення маневру корабля. Наведене є суттєвим недоліком активно-пасивних ГАС з ГПБА, що знижує ефективність застосування системи «ГАС-НК».

Типова активно-пасивна ГАС з ГПБА має буксировану частину, до складу якої входять такі структурні елементи, як підйомно-опускний пристрій, кабель-буксири, буксироване тіло-заглиблювач з низькочастотним випромінювачем, приймальна гнучка протяжна гідроакустична антена та якір-фал (рис. 2).

Для усунення неоднозначності визначення пеленгу на ціль (ліво-правостороння невизначеність) крім здійснення маневрування кораблем можуть бути застосовані і конструктивні методи при створенні гідроакустичних

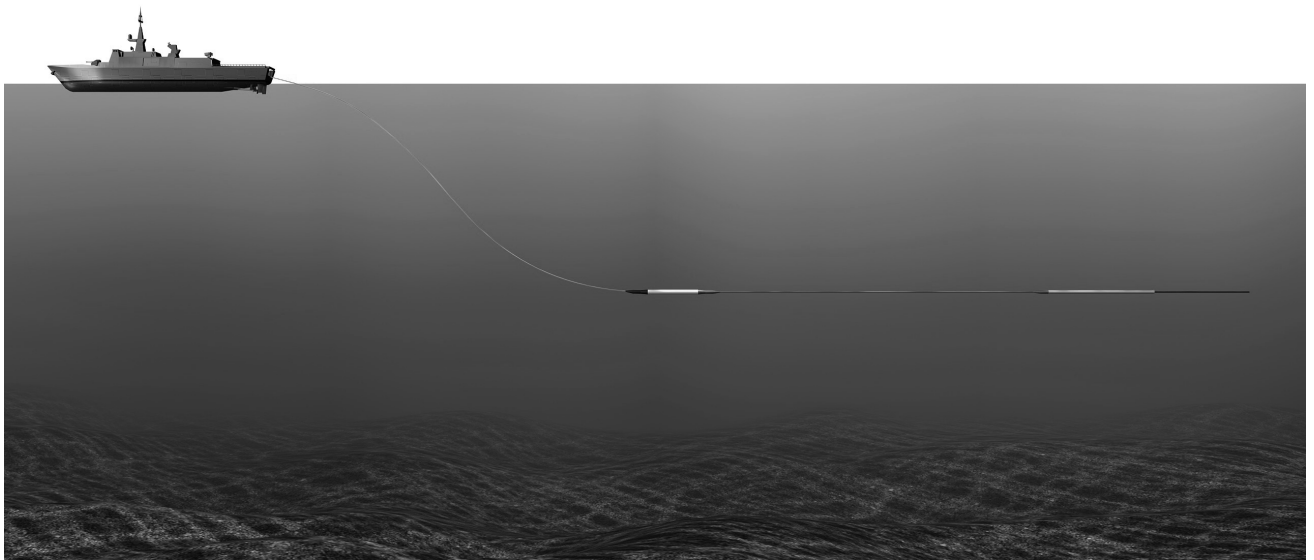


Рис. 1. Схема системи «ГАС-НК» з ГПБА CAPTAS «Нано»:

1 – важкий кабель-буксир; 2 – випромінююча лінійна антенна решітка; 3 – легкий кабель-буксир;
4 – приймальна антенна решітка; 5 – якір-фал

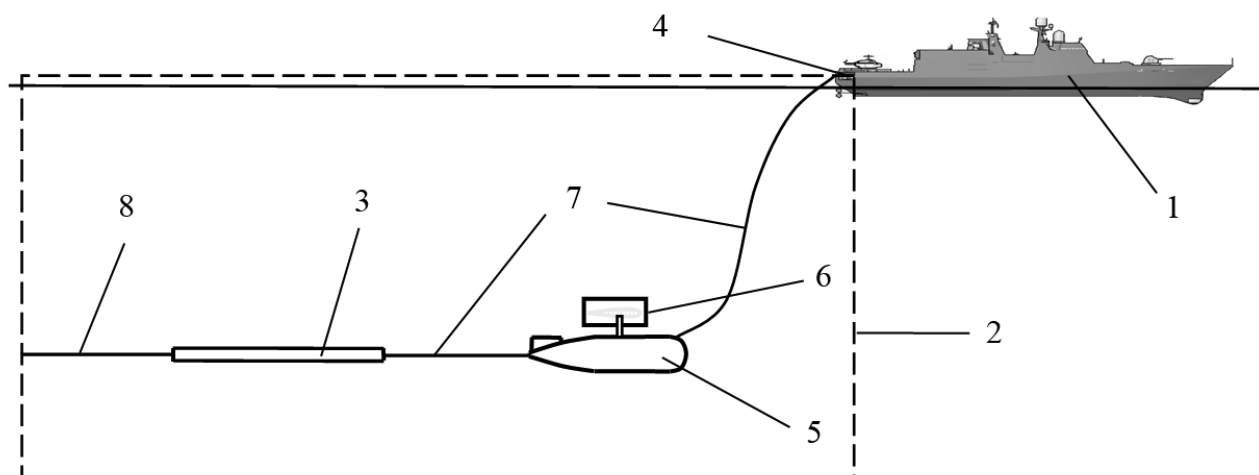


Рис. 2. Схема системи «ГАС-НК» з ГПБА:

1 – корабель-носіє; 2 – активна ГАС з ГПБА; 3 – ГПБА; 4 – підіймно-опускний пристрій;
5 – гідродинамічний заглиблювач; 6 – п'єзокерамічні циліндричні випромінювачі; 7 – кабель-буксири;
8 – якір-фал

комплексів (станцій). Зокрема, застосування дволінійних або трилінійних антен дозволяє розрізняти правий (лівий) напрямок і полегшує придушення ревербераційних сигналів.

На рис. 3 показано деякі структурні елементи ГАС з ГПБА сімейства CAPTAS.

Розглянемо інші конструктивні можливості підвищення ефективності системи «ГАС-НК» шляхом усунення всебічності (ненаправленості) випромінювання активної гідроакустичної станції

Варіант конструкції активної частини ГАС, при якому буксирувана частина споряджена акустично м'яким екраном, розміщеним між п'єзокерамічними циліндричними випромінювачами в площині їх поздовжніх осей і виконаним у вигляді тонкої пластины симетричного обтічного профілю [3].

Середня площина акустично м'якого екрана лежить у площині, утвореній поздовжніми осями п'єзокерамічних циліндричних випромінювачів, акустично м'який екран виконано за шириною не менше довжини

випромінювачів, з товщиною, що не перевищує двох товщин оболонки випромінювачів, відстань між відповідними торцями акустично м'якого екрана та зовнішніми поверхнями випромінювачів не перевищує двох товщин оболонки випромінювачів. Зазначений акустично м'який екран виконаний у вигляді тонкої пластины симетричного обтічного профілю. Конструктивно п'єзокерамічні циліндричні випромінювачі виконані у вигляді відкритого циліндра вільно обтічного ззовні та всередині водою зовнішнього середовища (рис. 4).

Система «ГАС-НК» з ГПБА, що забезпечує досягнення рішення технічної задачі, працює таким чином. При русі корабля-носія активної ГАС з ГПБА кабель-буксир та гідродинамічний заглиблювач визначають горизонт знаходження п'єзокерамічних циліндричних випромінювачів з акустично м'яким екраном і гнучкої протяжної буксируваної антени в морському середовищі. При цьому, оскільки внутрішні об'єми та зовнішні поверхні випромінювачів та акустично м'який екран є вільно обтічними, а поздовжні осі випромінювачів та

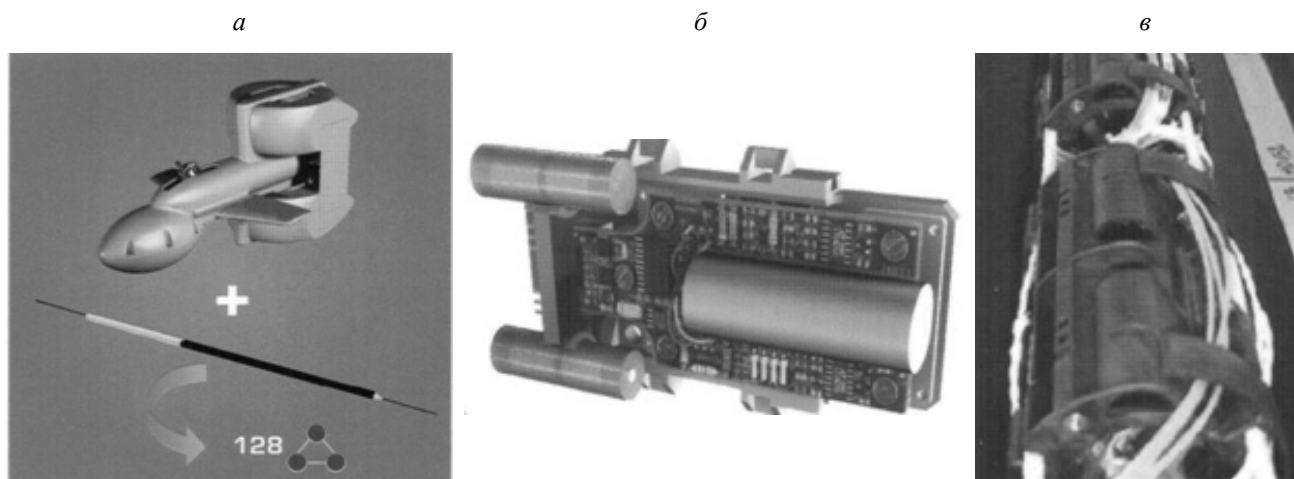


Рис. 3. Гідроакустичні елементи буксируваної частини ГАС CAPTAS:

а – заглиблювач з випромінювачем і відрізок ГПБА з «триплетними» приймачами; б – гідрофон «триплетного» типу; в – відрізок «триплетної» антени

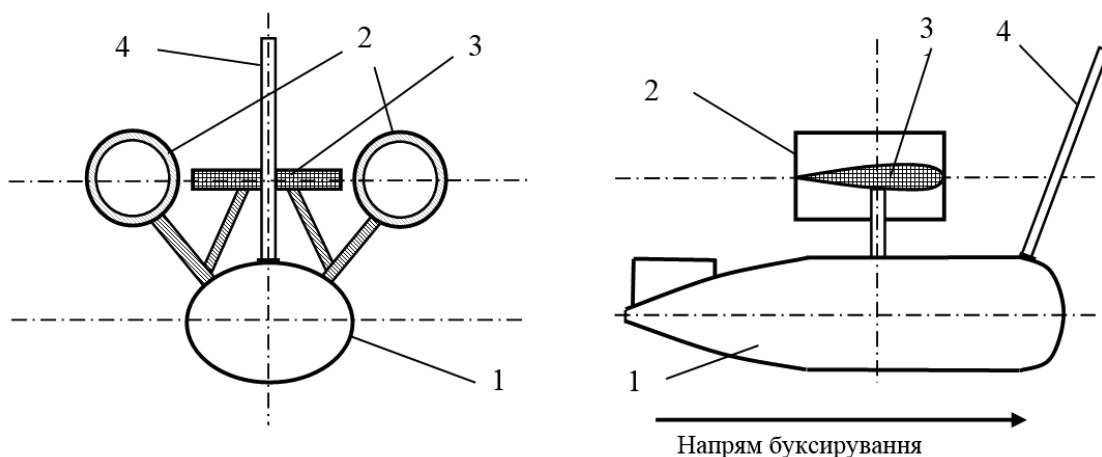


Рис. 4. Схема активної буксируваної частини ГАС з ГПБА:
1 – гідродинамічний заглиблювач; 2 – п'єзокерамічні циліндричні випромінювачі;
3 – акустично м'який екран; 4 – кабель-буксир

площина екрана співпадають з напрямом буксирування, лобовий опір гідродинамічного заглиблювача з випромінювачами та екраном має мінімальну величину.

Формування односторонньої направленості кожним з випромінювачів у присутності акустично м'якого екрана відбувається так. Кожен з випромінювачів при своїй роботі випромінює звукові хвилі однаково в усіх напрямках. Ці звукові хвилі при досягненні акустично м'якого екрана збуджують його, результатом чого є поява нового, розсіяного екраном звукового поля. Розсіяне акустично м'яким екраном звукове поле має амплітуду, близьку до амплітуди звукового поля, утвореного випромінювачем, але протилежну йому фазу, оскільки акустично м'який екран перевертає фазу збуджуючого його поля на протилежну. Тому результуюче поле випромінювача з акустично м'яким екраном є результатом суперпозиції створюваного одним з випромінювачів звукового поля та звукового поля, розсіяного акустично м'яким екраном, має різні амплітуди зі сторони екрана та з протилежної сторони. Зі сторони екрана ця амплітуда буде мінімальною. Тому направленість кожного з випромінювачів при наявності акустично м'якого екрана стає односторонньою з максимумом із своєї сторони і мінімумом зі сторони розміщення іншого перетворювача. Наведене демонструють криві на рис. 5, де С – характеристика направленості одного випромінювача без впливу акустично м'якого екрана, а криві А,

Б – характеристики направленості кожного з випромінювачів у присутності акустично м'якого екрана. Характеристики направленості R_θ наведені для вертикальної площини. Відлік кута θ здійснюється в площині, нормальній до поздовжньої осі випромінювача зі сторони, протилежної акустично м'якому екрану. Розрахунок виконано на частоті 1000 Гц при розмірі акустично м'якого екрана між поверхнями випромінювачів 100 мм.

Оскільки при наведених на рис. 5 характеристиках направленості коефіцієнт концентрації активної частини системи «ГАС-НК» з ГПБА збільшується від 1 до 2–3, енергетична ефективність по кожному із бортів корабля-носія підвищується, хоча випромінює при цьому лише один з випромінювачів. Крім цього, виконання акустично м'якого екрана у вигляді тонкої пластини симетричного обтічного профілю забезпечує сталість лобового опору буксируваної частини.

Таким чином, це рішення дозволяє забезпечити одностороннє випромінювання звукової енергії і тим самим ліквідувати неоднозначність визначення пеленга на ціль (ліво-правосторонню невизначеність) системою «ГАС-НК» з ГПБА.

Розглянемо інший варіант підвищення ефективності системи «ГАС-НК» з ГПБА шляхом усунення всебічності (ненаправленості) випромінювання активної гідроакустичної станції [4].

Буксирувана частина споряджена новими конструктивними елементами, а саме (рис. 6):

акустично м'якою циліндричною вставкою радіусом r розміром $0,25R < r < 0,4R$, розміщеною у внутрішній порожнині радіусом R циліндричного випромінювача, вільно обтічного ззовні і зсередини навколишнім середовищем, несиметрично та паралельно його поздовжній осі. Поздовжня вісь вставки лежить з поздовжньою віссю циліндричного випромінювача в одній площині, перпендикулярній до вертикальної площини в напрямі буксирування, на відстанях l в межах $0,1R < l < 0,7R$;

дистанційно керованим пристроєм, який регулює відстань l та переміщує по направляючій акустично

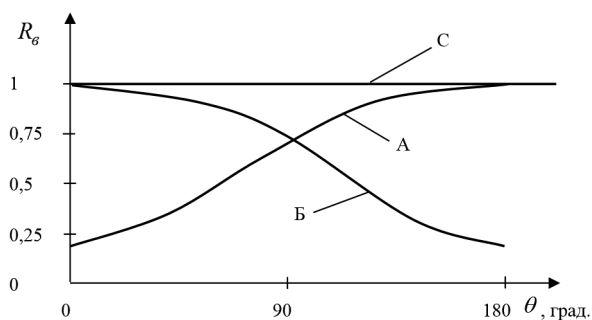


Рис. 5. Характеристики направленості п'єзокерамічних циліндричних випромінювачів з акустично м'яким екраном

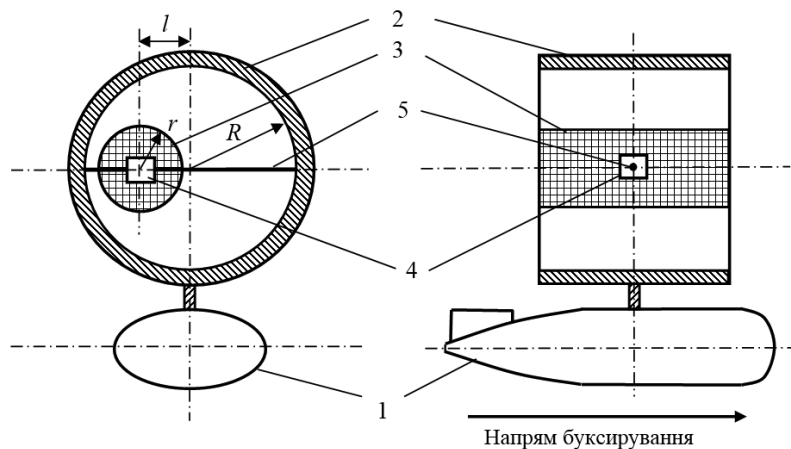


Рис. 6. Схема активної буксированої частини ГАС з ГПБА:

1 – гідродинамічний заглиблювач; 2 – п'єзокерамічний циліндричний випромінювач;
3 – акустично м'яка вставка; 4 – дистанційно керований пристрій; 5 – направляюча дистанційно керованого пристрою

м'яку циліндричну вставку з однієї половини циліндричного випромінювача на іншу.

Така конструкція дозволяє створити направленість випромінювання активної ГАС з ГПБА, збільшуючи тим самим її енергетичну ефективність за рахунок збільшення коефіцієнта концентрації енергії циліндричного випромінювача та усуваючи при цьому ліво-правосторонню невизначеність системи «ГАС-НК».

Рішення технічної задачі усунення ненаправленості в системі «ГАС-НК» з ГПБА дійсно можливе оскільки:

шляхом спорядження конструкції циліндричного випромінювача, обтічного зовнішнім середовищем ззовні та зсередини, несиметрично розміщеною відносно випромінювача акустично м'якою вставкою, поздовжня вісь якої паралельна поздовжній осі випромінювача та лежить з нею в одній площині, перпендикулярній до вертикальної в напрямі буксирування, на відстані l , забезпечується формування односторонньої направленості випромінювання з мінімальним значенням зі сторони розміщення акустично м'якої вставки, завдяки чому збільшується енергетична ефективність випромінювача (коефіцієнт концентрації дорівнює 1 у випадку відсутності зазначеної акустично м'якої вставки та збільшується до 3–4 при введенні зазначеної вставки);

шляхом спорядження циліндричного випромінювача дистанційно керованим пристроєм, який регулює відстань l та переміщує акустично м'яку вставку з однієї половини циліндричного випромінювача на іншу за допомогою направляючої, забезпечується формування випромінювачем з правої та лівої сторін активної ГАС односторонньої направленості, відтак усувається ліво-правостороння невизначеність у системі «ГАС-НК» з ГПБА.

Розглянемо роботу такої системи «ГАС-НК». При русі корабля-носія активної ГАС з ГПБА кабель-буксир та гідродинамічний заглиблювач визначають горизонт знаходження циліндричного випромінювача та ГПБА в морському середовищі. Формування односторонньої направленості циліндричним випромінювачем з несиметричною акустично м'якою циліндричною вставкою

по лівому або правому борту відбувається таким чином. Циліндричний випромінювач є системою, радіально симетричною відносно своєї поздовжньої осі. Тому в ньому може збуджуватись тільки нульова (пульсуюча) мода коливань оболонки, у зв'язку з чим випромінювання ним звуку в зовнішнє середовище є ненаправленим (крива А на рис. 7). Порушення радіальної симетрії обумовлює зміну направлених властивостей циліндричного випромінювача, він втрачає свою ненаправленість. Спорядження внутрішньої порожнини циліндричного випромінювача, заповненої зовнішнім середовищем, акустично м'якою циліндричною вставкою, поздовжня вісь якої паралельна поздовжній осі циліндричного випромінювача, та зменшення за допомогою дистанційно керованого пристрою відстані між цими осями на величину l створює несиметричність коливальної системи циліндричного випромінювача, а, відтак, створює її односторонню направленість (крива Б на рис. 7). Фізично одностороння направленість обумовлена появою в коливальній системі циліндричного випромінювача наступних мод коливань (першої, другої тощо), що за своєю амплітудою наближуються до амплітуди нульової моди.

Має місце ефективний перерозподіл енергії, яка «закачується» в циліндричний випромінювач на нульовій моді, між наступними модами коливань. Результатом цього перерозподілу енергії є те, що в

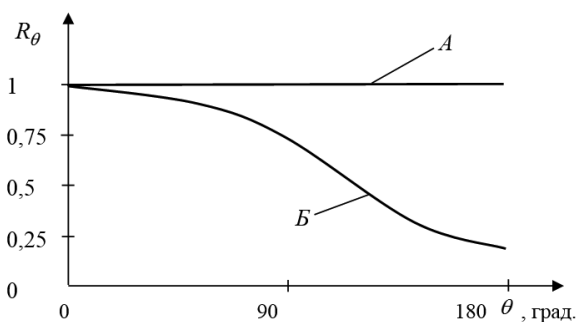


Рис. 7. Характеристики направленості п'єзокерамічного циліндричного випромінювача з акустично м'яким екраном

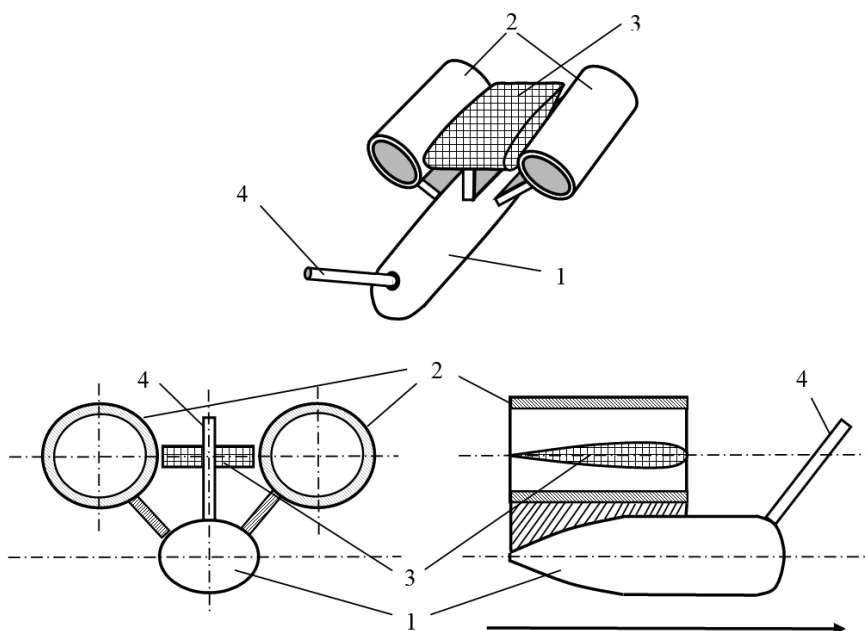


Рис. 8. Схема гідродинамічного заглиблювача з акустично м'якою вставкою:
1 – гідродинамічний заглиблювач; 2 – п'єзокерамічні циліндричні випромінювачі;
3 – крило Т-подібної форми; 4 – кабель-буксир

площині, нормальній до вертикальної, амплітуда сигналу зі сторони розміщення вставки в циліндричному випромінювачі, де величина $R-r$ мала, стає меншою, ніж амплітуда сигналу з протилежної сторони (крива B на рис. 7). Таким чином створюється направленість випромінювання системою «ГАС-НК». Зміною розмірів r і l відповідно в межах $0,25R < r < 0,4R$ та $0,1R < l < 0,7R$ можливо регулювати направленість, а, відтак, і коефіцієнт концентрації системи «ГАС-НК» у режимі випромінювання.

Переміщення несиметричної акустично м'якої вставки з однієї половини циліндричного випромінювача в іншу за допомогою дистанційно керованого пристрою по направляючій дозволяє змінювати лівосторонню направленість системи «ГАС-НК» на правосторонню та навпаки.

Ще один варіант підвищення ефективності системи «ГАС-НК» з ГПБА шляхом усунення всебічності (ненаправленості) випромінювання активної гідроакустичної станції наведено в роботі [5].

В основі рішення задачі лежить зміна конструкції гідродинамічного заглиблювача, а саме розміщення крила Т-подібної форми в просторі між сусідніми циліндричними випромінювачами в площині їх поздовжніх осей та нанесення на зовнішню поверхню горизонтального елемента крила Т-подібної форми акустично м'якого матеріалу. Загальний вигляд такого гідродинамічного заглиблювача та вигляд у фронтальному та поздовжньому перерізах зображено на рис. 8.

Рішення технічної задачі в системі «ГАС-НК» з АЗГ дійсно можливе через таке:

на сьогодні найбільш поширеною схемою побудови гідродинамічного заглиблювача є літакоподібна [5]. Ця форма дозволяє зберігати стійкість руху на високих швидкостях буксирування, при цьому

існує можливість управління рухом завдяки спеціальному хвостовому оперенню. Одним з основних елементів цього оперення є горизонтальний елемент крила Т-подібної форми обтічного профілю, кут нахилу якого відносно горизонтальної площини може змінюватися для забезпечення заданої глибини занурення буксированої частини системи «ГАС-НК»;

шляхом нанесення на зовнішню поверхню горизонтального елемента крила Т-подібної форми акустично м'якого матеріалу та розміщення його в просторі між сусідніми п'єзокерамічними циліндричними випромінювачами таким чином, що середня горизонтальна площина горизонтального елемента лежить у площині, утвореній поздовжніми осями випромінювачів, причому зміни кута нахилу горизонтального елемента до зазначеної площини не повинні перевищувати $\pm 30^\circ$, ширина горизонтального елемента крила Т-подібної форми в напрямі буксирування не менше довжини випромінювачів, а його передній профіль є дотичним до площини, утвореної передніми в напрямі буксирування торцями випромінювачів або виходить вперед за неї, забезпечується формування правим і лівим випромінювачами активної ГАС односторонньої направленості відповідно по правій і лівій сторонам системи «ГАС-НК».

Система «ГАС-НК» з ГПБА, яка забезпечує досягнення рішення технічної задачі, працює таким чином. При русі корабля-носія активної ГАС з ГПБА кабель-буксир та гідродинамічний заглиблювач з горизонтальним елементом крила Т-подібної форми в його хвостовій частині визначають горизонт знаходження п'єзокерамічних циліндричних випромінювачів і ГПБА в морському середовищі. При цьому, оскільки внутрішні об'єми та зовнішні поверхні випромінювачів є вільно обтічними, а поздовжні осі співпадають з напрямом буксирування, лобовий опір гідродинамічного заглиблювача, який має

спеціальне оперення обтічної форми у своїй хвостовій частині, з випромінювачами має мінімальну величину.

Формування односторонньої направленості кожним з випромінювачів у присутності горизонтального елемента з акустично м'якою поверхнею відбувається так. Кожен з випромінювачів при своїй роботі випромінює звукові хвилі однаково в усіх напрямках. Ці звукові хвилі при досягненні горизонтального елемента з акустично м'якою поверхнею збуджують її, результатом чого є поява нового, розсіяного горизонтальним елементом звукового поля. Зазначене розсіяне звукове поле має амплітуду, близьку до амплітуди звукового поля, утвореного випромінювачем, але протилежну йому фазу, оскільки горизонтальний елемент з акустично м'якою поверхнею змінює фазу збуджуючого його поля на протилежну [3]. Тому результуюче поле випромінювача з горизонтальним елементом крила Т-подібної форми є результатом суперпозиції створюваного одним з випромінювачів звукового поля та звукового поля, розсіяного горизонтальним елементом, має різні амплітуди зі сторони горизонтального крила та з протилежної сторони. Зі сторони горизонтального елемента ця амплітуда буде мінімальною. Тому направленість кожного з випромінювачів при наявності горизонтального елемента з акустично м'якою поверхнею стає односторонньою з максимумом зі своєї сторони і мінімумом зі сторони розміщення другого перетворювача.

Наведене демонструють криві на рис. 5, де C – характеристика направленості одного випромінювача без впливу акустично м'якого екрана, а криві A , B – характеристики направленості кожного із циліндричних випромінювачів у присутності горизонтального елемента [4]. Характеристики направленості R_θ наведені для вертикальної площини. Відлік кута θ здійснюється в площині, нормальній до поздовжньої осі випромінювача зі сторони, протилежної горизонтальному елементу. Розрахунок виконано на частоті 1000 Гц при розмірі горизонтального елемента крила Т-подібної форми між поверхнями випромінювачів 500 мм. Зміна кута нахилу горизонтального елемента крила в межах $\pm 30^\circ$ до горизонтальної площини, що необхідно для утримання гідродинамічного заглиблювача та циліндричних випромінювачів на заданій робочій глибині, практично не впливає на направленість випромінювачів.

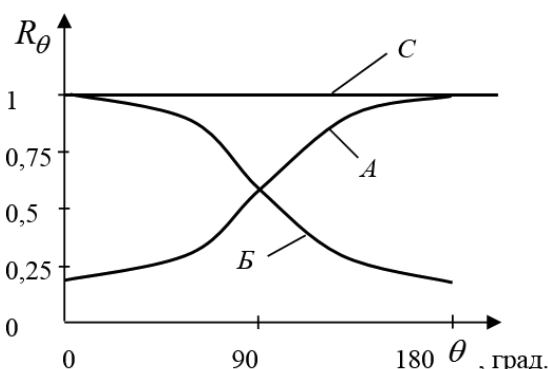


Рис. 9. Характеристики направленості п'єзокерамічних циліндричних випромінювачів у присутності горизонтального елемента з акустично м'якою поверхнею

Оскільки при наведених на рис. 9 характеристиках направленості коефіцієнт концентрації активної частини системи «ГАС-НК» з антенами змінної глибини, що заявляється, збільшується від 1 до 2–3, енергетична ефективність по кожному з бортів корабля-носія збільшується, хоча випромінює при цьому лише один з п'єзокерамічних циліндричних випромінювачів.

Висновки. Запропоновані технічні рішення щодо зміни конструкції п'єзокерамічних циліндричних випромінювачів у активній буксирній частині гідроакустичної станції шляхом застосування акустично м'якого екрана дають змогу усунути невизначеність пеленгування системи «гідроакустична станція – надводний корабель» з гнучкими протяжними буксирними антенами, тим самим підвищити ефективність цієї системи. Крім того, у всіх наведених технічних рішеннях збільшується енергетична ефективність системи «гідроакустична станція – надводний корабель» з гнучкими протяжними буксирними антенами за рахунок збільшення коефіцієнта концентрації енергії п'єзокерамічних циліндричних випромінювачів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дереп, А. В. Комплексная система «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Проблемные аспекты системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с антеннами переменной глубины [Текст] : моногр. / А. В. Дереп, А. Г. Лейко, Ю. Я. Меленко. – К. : ИД Д. Бурого, 2014. – 399 с.
2. Рясисов, Е. И. Гидроакустические станции с гибкими протяженными буксируемыми антеннами ВМС США [Текст] / Е. И. Рясисов // ЗВО. – 1995. – № 1. – С. 52–57.
3. Патент на корисну модель № 105369 Україна. МПК G01S 7/52.(2006/01). Система «гідроакустична станція – надводний корабель» з антенами змінної глибини [Текст] / А. В. Дереп, О. Г. Лейко, О. С. Ісаєнко, [та ін.]. – № у 2015 10531, заявл. 28.10.2015, опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5.
4. Патент на корисну модель № 106916 Україна. МПК G01S 7/52.(2006/01). Система «гідроакустична станція – надводний корабель» з направленими антенами змінної глибини [Текст] / А. В. Дереп, О. Г. Лейко. – № у 2015 11427, заявл. 20.11.2015, опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.
5. Патент на корисну модель № 106627 Україна. МПК G01S 7/52.(2006/01). Система «гідроакустична станція – надводний корабель» з антенами змінної глибини [Текст] / А. В. Дереп, О. Г. Лейко. – № у 2015 12430, заявл. 15.12.2015, опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8.

Рецензент А. Г. Лейко, д-р техн. наук, проф. (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» ім. І. Сікорського)

УДК 621.396.967

Р. М. ЖИВОТОВСЬКИЙ,

кандидат технічних наук,

С. М. ПЕТРУК, старший науковий співробітник

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

М. М. НІКІФОРОВ, кандидат військових наук

(Військовий інститут Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, м. Київ)

Особливості вдосконалення і розвитку системи діагностичного забезпечення на основі методу інтелектуальної підтримки

Досліджений метод реалізації нових інформаційних технологій на етапі експлуатації зенітного ракетного озброєння, який дозволяє обґрунтувати загальний стан з оцінки якості функціонування системи інтелектуальної підтримки процесу експлуатації і сформулювати основні принципи технічної діагностики озброєння.

Ключові слова: зенітне ракетне озброєння, технічна діагностика, експлуатаційна документація, діагностичні параметри, тактико-технічні характеристики.

Исследован метод реализации новых информационных технологий на этапе эксплуатации зенитного ракетного вооружения, который позволяет обосновать общее состояние оценки качества функционирования системы интеллектуальной поддержки процесса эксплуатации и сформулировать основные принципы технической диагностики вооружения.

Ключевые слова: зенитное ракетное вооружение, техническая диагностика, эксплуатационная документация, диагностические параметры, тактико-технические характеристики.

Досвід бойового застосування зенітних ракетних систем та комплексів, що знаходяться на озброєнні Збройних Сил України, у ході проведення антитерористичної операції на сході України показав, що вдосконалення і модернізація зазначеного зенітного ракетного озброєння (ЗРО) повинно здійснюватися не лише відомими «класичними» напрямками, пов'язаними з підвищенням характеристик вогневих можливостей, але й у напрямі підвищення експлуатаційних характеристик – впровадження вже існуючої системи технічної діагностики (СТД) у реальному масштабі часу. Експлуатація переважної кількості типів існуючого ЗРО характеризується відсутністю необхідних засобів автоматизації, в першу чергу щодо збору, аналізу і узагальнення даних про технічний стан зразків ЗРО, про наявність засобів технічного забезпечення. Це призводить до значних часових витрат на підготовку рішень щодо застосування сил і засобів технічного забезпечення, нерационального використання обмежених матеріальних і людських ресурсів.

У зв'язку з цим великий інтерес становить проблематика вдосконалення і розвитку існуючих зразків ЗРО на основі інтелектуалізації процесів їх експлуатації.

Проведений аналіз існуючого ЗРО промислово розвинених країн показав, що основні тактико-технічні характеристики зенітних ракетних систем та комплексів, що знаходяться на озброєнні Збройних Сил України, відповідають сучасним вимогам озброєної боротьби та перспективним рівням розвитку засобів розвитку повітряного нападу інших держав [1, 2]. У той же час, рівень оснащення вітчизняного ЗРО сучасними технічними засобами, що забезпечують інтелектуалізацію процесів їх експлуатації, істотно поступається найбільш досконалим зарубіжним аналогам.

Мета роботи – проаналізувати особливості методу реалізації нових інформаційних технологій спільно з макетом електронних форм експлуатаційної документації на етапі експлуатації зенітних ракетних систем та комплексів, що знаходяться на озброєнні Збройних Сил України.

Широкомасштабне використання обчислювальної техніки і процесів автоматизації спричиняє впровадження сучасних методів і способів збору, зберігання, пошуку, обробки і видачі інформації в реальному масштабі часу, що і забезпечує інтелектуалізацію етапів життєвого циклу озброєння. У цих умовах актуальним і перспективним напрямом вдосконалення системи технічного забезпечення і експлуатаційного середовища в цілому є впровадження в ці сфери інформаційних технологій, що забезпечують підтримку життєвого циклу озброєння та техніки на етапі їх експлуатації. Внаслідок того, що сучасні зразки озброєння та військової техніки (ОВТ) являють собою складні технічні системи, їх експлуатація повинна враховувати величезну кількість чинників, що впливають на ефективність цього процесу.

Стосовно процесів експлуатації ОВТ інтелектуалізація може включати ряд функцій, у тому числі: забезпечення об'єктивного контролю ОВТ у реальному масштабі часу (система технічної діагностики), спрямованого на підвищення якості технічного забезпечення і

збільшення часу експлуатації ОВТ; використання інтерактивного електронного технічного керівництва з експлуатації, призначеного для впорядкування організації експлуатаційного середовища і, як наслідок, підвищення бойової готовності.

Пропонований метод реалізації нових інформаційних технологій на етапі експлуатації ОВТ включає:

аналіз стану системи технічного забезпечення ОВТ (на прикладі зенітного ракетного озброєння);

формування основних принципів технічної діагностики ОВТ;

формування структури даних інтерактивного електронного технічного керівництва (ІЕТК) для різних етапів експлуатації ОВТ та формування призначених для користувача інтерфейсів різних предметних областей.

Реалізацію системи об'єктивного контролю доцільно здійснювати у вигляді СТД у реальному масштабі часу. Принцип дії СТД базується на основних ідеях теорії розпізнавання об'єктів і явищ (розпізнаванні образів). Фундаментальними поняттями теорії розпізнавання є алфавіт класів і словник ознак [7]. У процесі експлуатації об'єкта ОВТ – радіоелектронної апаратури – здійснюється її діагностування з метою контролю працездатності (КР) або пошуку несправності (ПН) у разі, якщо об'єкт непрацездатний. Стан працездатності або непрацездатності (несправності) об'єкта визначається за сукупністю його діагностичних параметрів. Поняття діагностичного параметра (ДП) передбачає вимір деякої фізичної величини і порівняння її з межами області допустимих значень [3, 4]. Відмінність полягає тут тільки в цілях і можливостях застосування параметрів.

Нехай є деяка сукупність об'єктів, що в цілому має деякі аналогічні або близькі властивості. Наприклад, сукупність зенітних керованих ракет. Нехай з тих або інших міркувань вибраний принцип класифікації цих об'єктів, тобто принцип розподілу їх на класи. Вибір принципу класифікації в загальному випадку повинен визначатися тим набором управлінських рішень, яке потенційно має система управління, що знаходиться над системою розпізнавання і приймає управлінські рішення залежно від результатів розпізнавання невідомих об'єктів, явищ, ситуацій, процесів.

Нехай зроблений підрозділ початкової множини об'єктів на класи, тобто складений алфавіт класів. У технічній діагностиці класи технічних станів об'єкта діагностики (ОД) відповідають його справному стану і наявності конкретних несправностей або їх деяких сукупностей.

Словник діагностичних ознак є сукупністю ознак, якими характеризуються як самі об'єкти, так і їх класи. Це можуть бути, наприклад, параметри вібраційних характеристик, акустичної емісії, напруги в елементах конструкції і т. п. Помітимо, що деякі з ознак можуть мати кількісний вираз, а інші – якісний. Наявність алфавіту класів і словника ознак дозволяє зробити опис кожного класу на мові ознак. Діагностичні ознаки можуть бути підрозділені на детерміновані, імовірнісні, логічні. Введення в розгляд алфавіту класів і словника ознак дозволяє скласти опис кожного класу на мові ознак, тобто

побудувати апріорні залежності. Конкретний вид цих залежностей визначається характером ознак.

Для класу систем зенітна ракетна система (комплекс), що розглядається, як діагностичні ознаки доцільно вибирати відповідність напруги в контрольних точках радіоелектронної апаратури встановленим номіналам, наприклад, струми зміщення НВЧ приладів, рівні порогової напруги і тому подібне (детерміновані ознаки), відхилення значень напруги і струмів у контрольних точках (імовірнісні ознаки), неприпустимі поєднання напруги в декількох контрольних точках, логічні команди і сигнали в їхній часовій послідовності (логічні ознаки). Конкретний склад діагностичних ознак вибирається стосовно конкретної апаратури залежно від вимог, що пред'являються до рівня достовірності результатів діагностики [5].

Так, якщо ознаки детерміновані, то описами класів є координати точок, що відповідають об'єктам і належать кожному з класів або еталону класів. Нехай встановлено, що до класу відносяться об'єкти, що мають значення ознак. Значення ознак об'єктів можна розглядати як координати точок у багатовимірному ознаковому просторі. Іншим видом опису класів у разі застосування детермінованих ознак є еталони, тобто точки в багатовимірному ознаковому просторі, що характеризують кожен клас. Як еталони використовуються такі точки, в яких сума відстаней від точок, що відповідають об'єктам і належать до цього класу, мінімальна. Якщо ознаки імовірнісні, то описами класів є:

апріорна імовірність появи об'єктів цього класу. Стосовно СТД це апріорна імовірність появи в ОД відповідних несправностей або апріорна імовірність того, що ОД опиниться в тому або іншому класі технічного стану;

функція щільності імовірностей значень ознак об'єктів, що належать цьому класу;

матриця втрат (ризиків), пов'язаних з правильними або неправильними рішеннями.

Процес апріорного опису класів об'єктів (класів технічних станів ОД) є найбільш трудомісткою задачею серед задач побудови СТД. Її рішення вимагає ретельного дослідження процесів виникнення несправностей, а також прояви цих несправностей у відповідних інформаційних каналах.

Принцип дії СТД полягає в такому [5, 6]. Нехай на основі вивчення особливостей функціонування ОД визначений перелік можливих його несправностей, тобто складений алфавіт класів технічних станів ОД. Нехай, крім того, визначений словник діагностичних ознак, що характеризують ці несправності, з одного боку, і апаратно забезпечених, з іншого. Нехай зроблений опис класів технічних станів на мові діагностичних ознак. Інакше кажучи, нехай побудоване апріорне програмно реалізоване математичне забезпечення СТД. Таким чином, визначається факт побудови СТД, її здатність функціонувати в штатному режимі діагностики даного ОД.

Процедура діагностики складається з двох етапів.

На першому визначаються значення кількісно вимірюваних діагностичних ознак у ОД у даний момент часу або факт наявності чи відсутності якісних

діагностичних ознак. Природно, що ті та інші ознаки відносяться до словника діагностичних ознак СТД. Вектор вимірюваних або визначених ознак є апостеріорною інформацією.

На другому етапі за допомогою алгоритмів діагностики здійснюється зіставлення апостеріорної інформації про ОД з апіорним описом класів його технічних станів. На основі цього зіставлення і визначається, в якому класі технічних станів знаходиться в даний момент ОД, тобто чи справний він або у нього з'явилися якісь конкретні несправності. Крім того, на основі ряду послідовних спостережень вектора в окремі моменти за допомогою алгоритмів прогнозування, також програмно реалізованих на ЕОМ СТД, здійснюється прогноз стану ОД на цілком конкретні інтервали часу.

Відзначимо тільки, що від вибору множини ДП П істотно залежать головні характеристики СТД: повнота і глибина діагностування.

Класичною формою подання діагностичної моделі для об'єктів радіоелектронної апаратури є таблиця функцій несправностей [8] (табл. 1). Стовпці таблиці відповідають окремому стану об'єкта $S_i \in S$, строки – окремим елементарним перевіркам. Мається на увазі, що в результаті виконання елементарної перевірки визначається значення окремого ДП $\pi_i \in \Pi$. У клітинках (I, J) таблиці, що знаходяться на перетині стовпця S_j і строки π_j , записується значення результату R_{ij} , отриманого при контролі ДП π_i в стані об'єкта S_j . Заповнення таблиці здійснюється за функціональною схемою об'єкта, на якій вказані контрольні точки і пов'язані з ними ДП.

Таблиця 1. Форма таблиці функцій несправностей

ДП	Стан об'єкта					
	S_0	S_1	...	S_j	...	$S_{|S|}$
π_1	$R_{1,0}$	$R_{1,1}$	...	$R_{1,j}$	...	$R_{1,|S|}$
...						
π_i		$R_{i,1}$	...	$R_{i,j}$	...	$R_{i,|S|}$
...						
$\pi_{|n|}$	$R_{|n|,0}$	$R_{|n|,1}$	...	$R_{|n|,j}$	...	$R_{|n|,|S|}$

За таблицею функцій несправностей будуються тести діагностування: тест контролю працездатності $\Pi_{кр}$ та тест пошуку несправності $\Pi_{ни}$ [8]. Тести $\Pi_{кр}$ і $\Pi_{ни}$ будуються як мінімальні підмножини ДП, що забезпечують відповідно КР і ПН з необхідною глибиною ($\Pi_{кр} \subset \Pi$). За отриманими тестами розробляються відповідні алгоритми КР і ПН.

Стосовно основних принципів технічної діагностики зенітного ракетного озброєння слід розглядати ряд СТД, що відповідають таким класам об'єктів. Для ЗРО сімейства С-300П, «Бук-М1» слід виділяти такі класи об'єктів: пункт бойового управління; засіб радіолокації; пускові установки; зенітні керовані ракети.

Для кожного типу ОД визначається алфавіт класів технічного стану ОД, тобто перелік можливих несправностей. Крім того, для кожного з цих класів ОД,

що характеризуються своїм словником діагностичних ознак (детермінованих, імовірнісних, логічних), формується апіорне програмно реалізоване математичне забезпечення технічної діагностики і необхідний набір технічних засобів.

Виходячи з викладеного, слід зазначити, що в загальному випадку СТД можна віднести до класу кібернетичних систем. У СТД відбувається формування інформації, її передача, зберігання, переробка та обмін інформацією.

Особливістю і новизною даного методу реалізації нових інформаційних технологій на етапі експлуатації ОБТ ЗРВ є те, що формування основних принципів технічної діагностики зразка техніки тісно пов'язане з формуванням структури даних інтерактивного електронного технічного керівництва (ІЕТК) для різних етапів експлуатації.

Існуюча експлуатаційна документація містить досить повний обсяг даних про вироби ОБТ. Основними недоліками традиційної форми експлуатаційної документації є повторюваність одних і тих же даних в різних документах, істотні об'єми паперових носіїв, відсутність властивості інтерактивності. Виключити ці недоліки дозволяє створення інтерактивного електронного технічного керівництва з експлуатації ОБТ.

Розробка «електронного макета» виробу ОБТ у формі інтерактивного електронного технічного керівництва (ІЕТК) дозволяє істотно упорядкувати організацію експлуатаційного середовища і, як наслідок, підвищити бойову і мобілізаційну готовність.

Інтерактивне електронне технічне керівництво є структурованим комплексом взаємозв'язаних технічних даних, призначеним для надання в інтерактивному режимі довідкової і описової інформації про експлуатаційні і ремонтні процедури, пов'язані з конкретними виробами ОБТ. ІЕТК включає бази даних і електронну систему відображення, призначену для візуалізації даних і забезпечення інтерактивної взаємодії з користувачем.

Бази даних містять технічні описи виробів ОБТ і їхніх вузлів, технологію експлуатації, обслуговування і ремонту, відомості про діагностику несправностей, повну специфікацію виробу, тобто ІЕТК є інтелектуальним сховищем даних, що дозволяє на стадії експлуатації виробу в інтерактивному режимі здійснювати: навчання персоналу; виконання регламентних робіт; діагностику і усунення несправностей; автоматизоване замовлення запасних частин і матеріалів; планування і облік проведення регламентних і ремонтних робіт.

Висновок

1. У роботі досліджено метод реалізації нових інформаційних технологій з формуванням структури даних інтерактивного електронного технічного керівництва на етапі експлуатації ЗРО, який обґрунтовує загальний стан оцінки якості функціонування системи інформаційної підтримки процесу його експлуатації.

2. Реалізація цього методу дозволить підвищити якість технічної діагностики і збільшити час експлуатації ЗРО, сформувати структуру даних інтерактивного

електронного технічного керівництва з експлуатації ЗРО і розробити предметно орієнтований макет електронних форм експлуатаційної документації, електронний макет зразка ОВТ у формі інтерактивного електронного технічного керівництва, використання якого дозволить істотно упорядкувати організацію експлуатаційного середовища і, як наслідок, підвищити бойову готовність озброєння.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Амзеев, Ш. Б. Комплексный подход к совершенствованию системы технического обеспечения зенитного ракетного вооружения ПВО [Текст] / Ш. Б. Амзеев // Сборник методических материалов. – Алма-Ата : МО РК, 2000. – Вип. № 5.
2. Амзеев, Ш. Б. Системотехнический подход к проблеме обеспечения качества системы информационной поддержки жизненного цикла вооружения и военной техники [Текст] / Ш. Б. Амзеев, Ю. Э. Лазаревич // Сборник трудов. – Минск : ВА РБ, 2003 – Вип. 1 (25).
3. Багрецов, С. А. Диагностика и прогнозирование функциональных состояний оператора в деятельности [Текст] / С. А. Багрецов, С. К. Колганов, В. М. Львов. – М. : Радио и связь, 2000.
4. Бондарев, П. А. Основы искусственного интеллекта [Текст] / П. А. Бондарев, С. К. Колганов. – М. : Радио и связь, 1998.
5. Горелик, А. Л. Методы технической диагностики машин и механизмов [Текст] / А. Л. Горелик, Ф. Я. Балицкий, А. Н. Требунский. – М. : НТЦ «Информтехника», 1990.
6. Стрельников, В. П. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем [Текст] / В. П. Стрельников, А. В. Федухин. – К. : Логос, 2002. – 486 с.
7. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения [Текст]. – Введ. 1991-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1989.
8. Прогнозування надійності складних об'єктів радіоелектронної техніки та оптимізація параметрів їх експлуатації імітаційних статистичних моделей [Текст] : моногр. / [С. В. Ленков, К. Ф. Боряк, Г. В. Банзак, В. О. Браун] ; за ред. С. В. Ленкова. – Одеса : ВМВ, 2014. – 248 с.

Рецензент А. С. Довгополий, д-р техн. наук, проф.
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та
військової техніки ЗС України, м. Київ)

УДК 629.7.03.004.67

М. Ю. КАХОВСЬКИЙ, науковий співробітник,
А. В. ГУЛЯЄВ, кандидат технічних наук, стар-
 ший науковий співробітник

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

О. В. ЯРОВІЦИН, кандидат технічних наук,
 старший науковий співробітник,

М. О. ЧЕРВЯКОВ, кандидат технічних наук,
 старший науковий співробітник

(Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона
 НАН України)

Взаємозв'язок теплових характеристик малоамперної дуги і напружено-деформованого стану зварних з'єднань зі жароміцних нікелевих сплавів вузлів газотурбінних двигунів військової і транспортної авіації

*Досліджувалася можливість поліпшення
 зварюваності нікелевих жароміцних сплавів
 з позицій взаємозв'язку теплових характери-
 стик зварювального джерела нагріву і термо-
 деформаційних процесів у зварному з'єднанні.*

*Исследовалась возможность улучшения сва-
 риваемости никелевых жаропрочных сплавов с
 позиций взаимосвязи тепловых характеристик
 сварочного источника нагрева и термдеформа-
 ционных процессов в сварном соединении.*

При виготовленні багатьох вузлів газотурбінних двигунів військової і транспортної авіації застосовуються жароміцні нікелеві сплави з γ' -зміцненням, що забезпечують високий рівень опору руйнуванню при статичних і циклічних навантаженнях у поєднанні з гранично високими температурами при експлуатації. Головним недоліком цих конструкційних матеріалів є низька їх зварюваність, що виявляється в підвищеній чутливості зварних з'єднань до утворення гарячих тріщин при зварюванні і термічній обробці.

На сьогоднішній день у зв'язку із значним терміном перебування авіаційної техніки в експлуатації і підтримці її в постійній бойовій готовності значно зростає потреба ремонту і відновлення ресурсу авіаційних двигунів. Для збільшення тривалості терміну експлуатації і підвищення льотно-технічних характеристик усе більш актуальним питанням стає розробка і впровадження нових технологій проведення ремонту методом відновлення зношених робочих і соплових лопаток з нікелевих жароміцних сплавів (ЖС26, ЖС32, ЖС6 і ін.), що використовуються в авіаційних газотурбінних двигунах, таких як: РД-33 (МіГ-29, МіГ-29К, МіГ-35), СМР-95 (Super Mirage F-1, Super Cheetah D-2), Д-18Т (Ан-124 "Руслан", Ан-124-100, Ан-225 "Мрія"), АІ-25 (Як-40, Милец М-15, Аеро L-39 "Альбатрос", Hongdu JL-8, Comp Air Jet) та ін.

Відомо, що нікелеві жароміцні сплави при сумарно-му вмісті Al і Ti більше 6 % містять 45...65 об'ємних % γ' -фази і вважаються незварюваними у зв'язку з високою схильністю до утворення гарячих тріщин як при зварюванні, так і при подальшій термічній обробці [1–2]. Згідно з існуючою думкою виникнення тріщин у нікелевих жароміцних сплавах з вмістом γ' -фази від 8% до 60 % при зварюванні плавленням і подальшій термічній обробці обумовлено сумарним впливом напружень і деформацій, що виникають під дією термічного циклу зварювання від структурних перетворень (розчинення і виділення, зміна розмірів γ' -фази, карбідні реакції) та зварювальних напружень і деформацій [2–4]. Якщо при охолодженні зварного з'єднання темп наростання розтягальних деформацій перевищує критичну величину деформацій нікелевого жароміцного сплаву в температурному інтервалі крихкості, то в процесі зварювання плавленням виникають гарячі тріщини [4].

Проведені протягом останніх 20 років у Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона НАНУ дослідження процесу мікроплазмового порошкового наплавлення [5–10] і його практична апробація на підприємствах [7, 8] показали, що перехід від аргонодугового наплавлення (зварювання) до мікроплазмового порошкового наплавлення значно покращує зварюваність нікелевих жароміцних сплавів з вмістом γ' -фази більше 45% і забезпечує високі службові властивості зварних з'єднань. Мікроплазмове порошкове наплавлення (зварювання) жароміцних нікелевих сплавів відрізняється можливістю використання присадкового матеріалу, ідентичного за хімічним складом матеріалу лопатки газотурбінного двигуна; більшою продуктивністю наплавлення на вузьку підкладку в порівнянні з аргонодуговим наплавленням; обмеженням

температури попередньої термічної обробки до 1050°C перед зварюванням плавленням; реалізацією процесу без попереднього підігріву [5–8].

Вищеперелічені переваги мікроплазмового порошкового наплавлення дозволяють вважати його одним з найперспективніших процесів для зварювання плавленням жароміцних нікелевих сплавів з високим вмістом γ' -фази. Незважаючи на значний науково-практичний досвід освоєння і промислової реалізації нового процесу на сьогоднішній день причини поліпшення зварюваності жароміцних нікелевих сплавів при мікроплазмовому порошковому напавленні вивчені недостатньо.

Метою дослідження є покращення зварюваності нікелевих жароміцних сплавів (ЖС26, ЖС32, ЖС6 і ін.) з позицій взаємозв'язку теплових характеристик зварювального джерела нагріву і термодеоформаційних процесів у зварному з'єднанні.

Процес мікроплазмового порошкового наплавлення має дві принципові відмінності від традиційно застосовуваних способів зварювання плавленням жароміцних нікелевих сплавів, зокрема від малоамперного аргонодугового наплавлення на прямій полярності з використанням прутків або дроту.

Першою з них є введення дисперсного присадкового матеріалу переважно в твердому агрегатному стані в зварювальну ванну. З одного боку, це дозволяє керувати в'язкістю металу зварювальної ванни за рахунок зміни її температури шляхом регулювання продуктивності подачі дисперсного матеріалу [6, 9, 10]. З іншого боку, тверді частинки порошку при їх плавленні в зварювальній ванні утворюють переохолоджені мікрооб'єми, що сприяють утворенню високодисперсної структури при кристалізації металу і знижують схильність до утворення кристалізаційних тріщин у зварному шві [11, 12]. Також введення дисперсної присадки в зварювальну ванну створює умови для відводу надлишкового

нерационального тепла в зоні зварювання, яке раніше витрачалося на перегрів зварювальної ванни, збільшення глибини проплавлення основного металу, формування значних температурних градієнтів у зоні термічного впливу (ЗТВ) [12]. Імовірно, введення дисперсних частинок у зварювальну ванну зменшує рівень структурних напружень у закристалізованому металі. Стосовно зварювання плавленням нікелевих жароміцних сплавів, то вплив параметрів введення дисперсної присадки на рівень напружень другого роду в напавленому металі і ЗТВ на сьогоднішній день вивчено недостатньо.

Другою принциповою відмінністю процесу мікроплазмового порошкового наплавлення (зварювання) є теплові характеристики дуги. Зовнішній вигляд і геометричні розміри двох типів дуг (стислої мікроплазмової для наплавлення і вільної аргонової прямої полярності) в області їх технологічного застосування при ремонті лопаток газових турбін зображені на рис. 1, 2.

Експериментальні дані щодо ефективної теплової потужності дуги і коефіцієнта зосередженості питомого теплового потоку дуги, переважно отримані за відомими методиками проточного калориметрування на водоохолоджуваному мідному аноді [9, 13], показані на рис. 3, 4.

В області технологічних параметрів мікроплазмового порошкового наплавлення його теплові характеристики визначаються: умовами стиснення дуги соплами плазмотрона в межах діаметрів каналів 1,8...8 мм; виду захисного газу (аргон, аргоно-воднева суміш); наявністю або відсутністю подачі присадкового порошку в стовп мікроплазмової дуги. Аналіз величин ефективної теплової потужності дуги (рис. 3) однозначно показує, що при рівних струмах мікроплазмова дуга є в 1,7...2,4 рази потужнішим зварювальним джерелом тепла на поверхні виробу, ніж вільна малоамперна аргонова дуга прямої полярності. Це, в першу чергу, обумовлено різною

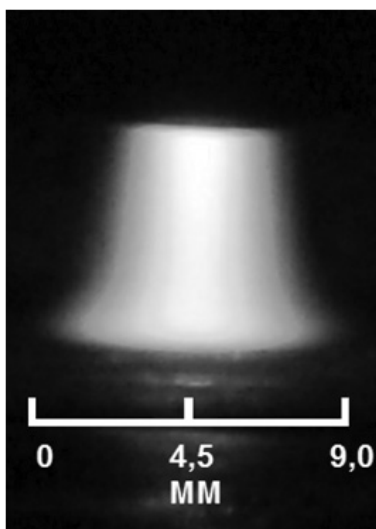


Рис. 1. Зовнішній вигляд мікроплазмової дуги з ефективною тепловою потужністю 341 Вт при відстані від зовнішнього зрізу плазмотрона до анода 5 мм у аргоно-водневій суміші 90 % Ar + 10% H₂

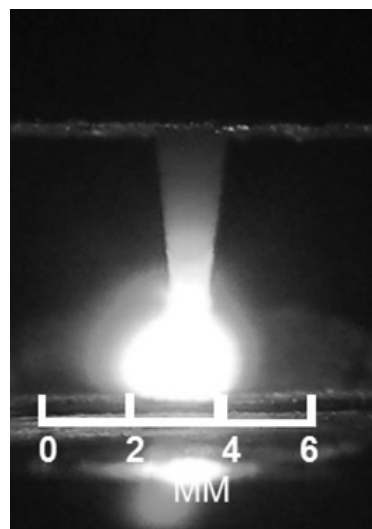


Рис. 2. Зовнішній вигляд вільної дуги прямої полярності з ефективною тепловою потужністю дуги 341 Вт при відстані від торця електрода до анода 2 мм, товщині вольфрамового електрода 2 мм у середовищі аргону

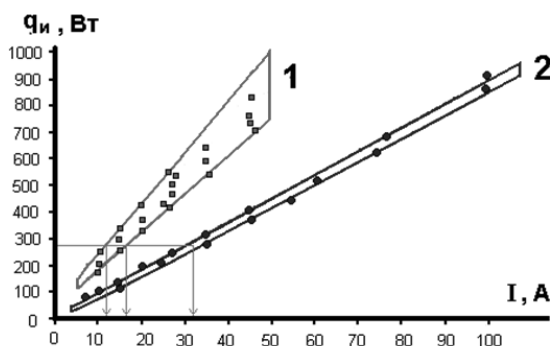


Рис. 3. Залежність ефективної теплової потужності дуги q_u від сили струму I :

1 – діапазон параметрів мікроплазмового порошкового наплавлення; 2 – діапазон параметрів малоамперного аргонодугового наплавлення

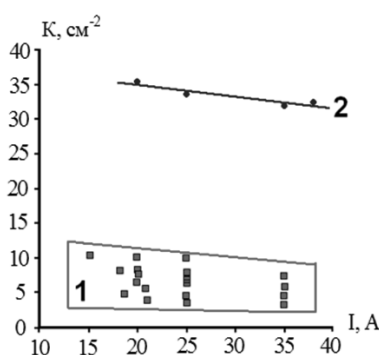


Рис. 4. Залежність коефіцієнта зосередженості теплового потоку дуги k від сили струму I :

1 – діапазон параметрів мікроплазмового порошкового наплавлення; 2 – діапазон параметрів малоамперного аргонодугового наплавлення

напругою дугового проміжку: 20...32 В для мікроплазмової дуги та 9...14 В для малоамперної вільної аргонової дуги прямої полярності. Порівняння за величиною коефіцієнта зосередженості теплового потоку однозначно показує, що в даній області параметрів (тобто області технологічного застосування зазначених малоамперних дуг), навпаки, вільна аргонова дуга прямої полярності в 3...13 разів є більш зосередженим зварювальним джерелом тепла (рис. 4). Істотні відмінності зосередженості теплового потоку для умов мікроплазмового порошкового і аргонодугового наплавлення в першу чергу обумовлені геометричними розмірами поперечного перерізу високотемпературної області стовпа дуги (див. рис. 1, 2). Підвищені значення коефіцієнтів зосередженості теплового потоку для двох різних дуг при силі струму менше 40 А (рис. 4) у порівнянні з опублікованими аналогічними експериментальними даними для струмів понад 70...80 А [9, 17], обумовлені ефектом контрагування дуги (тобто ступеня її стиснення) [15] на малих струмах. За даними [15] при струмах менше 40 А незалежно від газового середовища дуги (Ar; 90% Ar + 10% H₂) коефіцієнт контрагування зварювальної дуги зростає зі зменшенням сили зварювального струму.

Тепловий потік від зварювальної дуги до виробу $q_2(r)$ з достатньою точністю описується нормальним

законом розподілу (рис. 5), параметри якого пов'язані з основними тепловими характеристиками мікроплазмової дуги (ефективна теплова потужність дуги q_u , коефіцієнт зосередженості питомого теплового потоку k) за допомогою відомих залежностей [16]:

$$q_2(r) = q_{2m} e^{-kr^2}, \quad (1);$$

$$q_{2m} = \frac{k}{\pi} q_u, \quad (2);$$

де q_{2m} – інтенсивність теплового потоку дуги на осі джерела тепла.

На підставі загальноприйнятих підходів для певного значення ефективної теплової потужності на підставі експериментальних даних (див. рис. 4 [19]) для розглянутих видів дуг можна оцінити радіальний розподіл теплового потоку, і, зокрема, щільність теплової енергії в еквівалентній плямі нагріву, тобто інтенсивність теплового потоку зварювального джерела тепла.

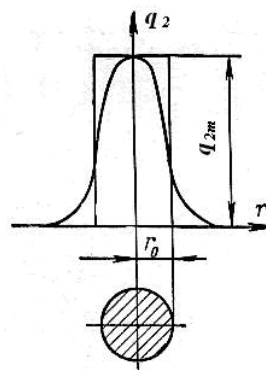


Рис. 5. Нормально-круговий розподіл теплового потоку зварювального джерела тепла за коефіцієнтом зосередженості k і еквівалентний йому за потужністю рівномірний розподіл по площі круга радіуса r_0

На рис. 6 показано, що при однаковій ефективній тепловій потужності дуги щільність теплової енергії в еквівалентній плямі нагріву джерела тепла для умов малоамперного аргонодугового наплавлення в 4...9 разів перевищує відповідну характеристику зварювального джерела тепла для умов мікроплазмового порошкового наплавлення.

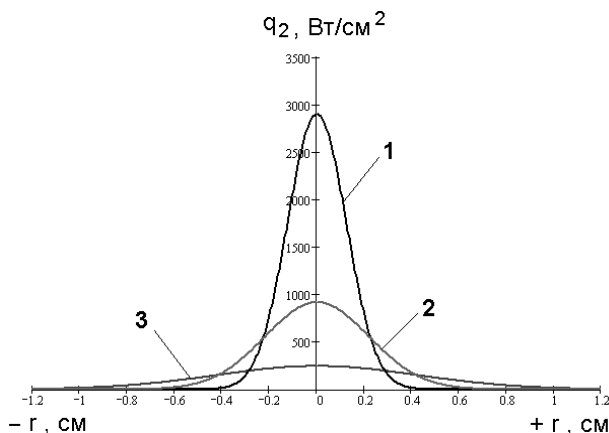


Рис. 6. Радіальний розподіл питомого теплового потоку $q(r)$ при ефективній тепловій потужності дуг 281 Вт:

1 – вільна аргонова дуга прямої полярності; 2–3 – діапазон регулювання параметрів теплового потоку при мікроплазмовому порошковому наплавленні

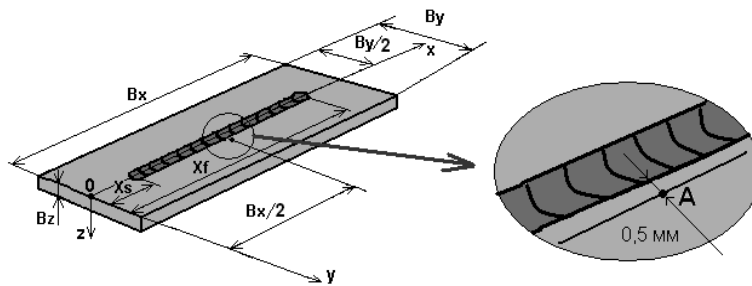


Рис. 7. Розрахункова схема нагріву пластини рухомих зварювальним джерелом тепла для математичного моделювання термодеформаційних процесів:

$x_s = 10$ мм; $B_x - x_f = 10$ мм відповідно координати початку і закінчення нагріву пластини

Таким чином, в ході обробки експериментальних даних теплових характеристик встановлені суттєві відмінності радіального розподілу теплового потоку вільної і стислої дуг в областях параметрів їх технологічного застосування. Виходячи з аналізу умов нагріву виробу зварювальним джерелом тепла, правомірно припускати, що різна інтенсивність теплового потоку в плямі нагріву буде чинити певний вплив на параметри термічного циклу і, відповідно, напружено-деформованого стану зварного з'єднання при зварюванні плавленням жароміцних нікелевих сплавів.

Для оцінки характеру впливу інтенсивності теплового потоку на термічний цикл і напружено-деформований стан металу ЗТВ нікелевого жароміцного сплаву з вмістом 50% γ' -фази виконаний чисельний експеримент у галузі технологічного застосування аргондугового і мікроплазмового порошкового наплавлення.

Розглядався випадок нагріву вільної пластини розмірами $75 \times 40 \times 3$ мм джерелом тепла з нормальним розподілом теплового потоку і різною його зосередженістю, який рухався по осі симетрії уздовж пластини (рис. 7).

Тривимірне рівняння теплопровідності вирішувалося в рамках теорії теплопровідності Фур'є з урахуванням втрат тепла на конвекцію, випромінювання від поверхні і від країв пластини. Дослідження базувалися на дослідженні розвитку температурних полів, напружень та відповідних пружно-пластичних деформацій у часі під дією термічного циклу зварювання згідно з алгоритмом, розробленим у ІЕЗ ім. Є. О. Патона [17]. У розрахунках використовували експериментальні залежності коефіцієнта лінійного розширення, теплоємності, теплопровідності, межі текучості і модуля пружності від температури для нікелевого жароміцного сплаву з вмістом 50% γ' -фази, отримані в роботах [3, 4]. Щільність теплової енергії зварювального джерела тепла в математичній моделі характеризувалася об'ємною інтенсивністю тепловиділення g_0 з коефіцієнтами зосередженості питомого теплового потоку k_x , k_y , k_z відповідно за напрямками: x – довжина пластини; y – ширина пластини; z – товщина пластини:

$$g_0 = \frac{2q_u \sqrt{k_x k_y k_z}}{\pi^2} \quad (3);$$

Для умов малоамперного аргондугового процесу на підставі експериментальних даних записів термічних циклів були прийняті такі параметри коефіцієнта

зосередженості зварювального джерела тепла: $k_x = 25 \text{ см}^{-2}$, $k_y = 25 \text{ см}^{-2}$, $k_z = 80 \text{ см}^{-2}$. На підставі експериментальних і розрахункових даних (див. рис. 4, 6) зварювальне джерело тепла для умов мікроплазмового порошкового наплавлення було задане зі зменшеною в 4 рази зосередженістю питомого теплового потоку параметрами коефіцієнта зосередженості $k_x = 6 \text{ см}^{-2}$, $k_y = 6 \text{ см}^{-2}$, $k_z = 20 \text{ см}^{-2}$. При моделюванні напружено-деформованого стану металу ЗТВ, з урахуванням обов'язкових умов існування зварювальної ванни на поверхні пластини, у вигляді різних значень погонної енергії також враховані відмінності швидкостей аргондугового і мікроплазмового порошкових наплавлень при ремонті деталей ГТД (відповідно $q_u/V = 338 \text{ Дж/мм}$ і $q_u/V = 1440 \text{ Дж/мм}$).

Результати чисельного моделювання кінетики зміни температури T поздовжніх σ_{xx} і поперечних σ_{yy} напружень, поздовжньої деформації ε_{xx} при оплавленні пластини товщиною 3 мм без попереднього підігріву двома зварювальними джерелами тепла з однаковою $q_u = 281 \text{ Вт}$, але з різною зосередженістю питомого теплового потоку, наведені на рис. 8, 9.

На підставі моделювання температурних полів в основному металі визначено, що при застосуванні зварювального джерела тепла з низькою щільністю теплової енергії в плямі нагріву (рис. 8) створюються умови більш плавного нагріву і охолодження зони термічного впливу в інтервалі температур $700 \dots 1200^\circ\text{C}$, який відповідає температурним інтервалам крихкості ТІК-1 і ТІК-2 нікелевого жароміцного сплаву з вмістом 50% γ' -фази (ефективна теплова потужність $q_u = 281 \text{ Вт}$; погонна енергія $q_u/V = 1440 \text{ Дж/мм}$; параметри коефіцієнта зосередженості $k_x = 6 \text{ см}^{-2}$, $k_y = 6 \text{ см}^{-2}$, $k_z = 20 \text{ см}^{-2}$). Охолодження розглянутої ділянки металу ЗТВ в температурних інтервалах крихкості зі швидкістю $3 \dots 20^\circ\text{C/c}$ (рис. 8) призводить до зменшення: з 950 до 250 МПа рівня максимальних розтягальних поздовжніх σ_{xx} напружень; з 250 до 50 МПа рівня максимальних розтягальних поперечних σ_{yy} напружень; з 0,4% до 0,9% рівня максимальної поздовжньої деформації ε_{xx} щодо наведених на рис. 9 умов оплавлення пластини малоамперною аргонною дугою прямої полярності (ефективна теплова потужність $q_u = 281 \text{ Вт}$; погонна енергія $q_u/V = 338 \text{ Дж/мм}$; параметри коефіцієнта зосередженості $k_x = 25 \text{ см}^{-2}$, $k_y = 25 \text{ см}^{-2}$, $k_z = 80 \text{ см}^{-2}$). Слід зазначити, що при аргондуговому процесі в інтервалі температури $1200 \dots 700^\circ\text{C}$ темп наростання поздовжніх пластичних

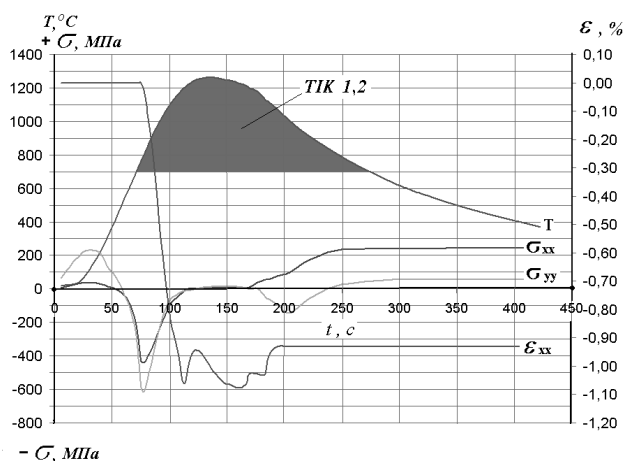


Рис. 8. Залежність зміни температури T , поздовжніх σ_{xx} і поперечних σ_{yy} напружень, поздовжньої деформації ε_{xx} від часу t

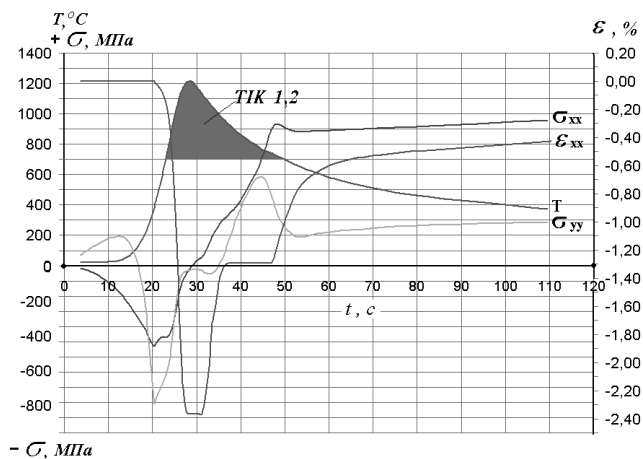


Рис. 9. Залежність зміни температури T , поздовжніх σ_{xx} і поперечних σ_{yy} напружень, поздовжньої деформації ε_{xx} від часу t

деформацій позитивний, а поздовжні напруження в зазначеному інтервалі температур розтягальні, що буде створювати умови для утворення поперечних тріщин.

У роботах [4, 18] обґрунтовано доцільність застосування аргонодугового процесу на мінімальній погонній енергії при зварюванні плавленням нікелевих жароміцних сплавів з погляду забезпечення технологічної міцності. Отримані в даній роботі нові результати свідчать, що напружено-деформований стан металу, більш прийнятний для забезпечення технологічної міцності зварних з'єднань нікелевих жароміцних сплавів, може виникати і при досить високому рівні погонної енергії в разі зниження щільності теплового потоку зварювального джерела тепла в плямі нагріву. Проведений аналіз експериментальних даних щодо теплових характеристик малоамперних дуг дозволяє обґрунтувати поліпшення їх зварюваності при мікроплазмовому порошковому наплавленні з позицій управління щільністю теплового потоку зварювального джерела тепла в еквівалентній плямі нагріву.

Висновки:

1. Виходячи з аналізу експериментальних даних щодо теплових характеристик малоамперних дуг обґрунтоване поліпшення зварюваності нікелевих жароміцних сплавів при мікроплазмовому порошковому наплавленні з позицій управління щільністю теплового потоку зварювального джерела тепла в еквівалентній плямі нагріву.

2. Методом математичного моделювання встановлено, що при обмеженні щільності теплового потоку зварювального джерела тепла в еквівалентній плямі нагріву в діапазоні 250...1000 Вт/см² при досить високих значеннях погонної енергії можуть створюватися умови, при яких виникнення найбільш небезпечних поперечних навколошовних тріщин малоймовірно, зважаючи на відносно невисокий рівень тимчасових і залишкових напружень і деформацій в порівнянні з традиційним малоамперним аргонодуговим процесом на прямій полярності.

3. Успішне застосування на ДП "Івченко-Прогрес", АТ "Мотор-Січ", ДП "ЛРЗ Мотор" технології

мікроплазмового порошкового наплавлення дозволяє отримувати бездефектні з'єднання з використанням присадки, ідентичні або близькі за складом до основного металу, і забезпечувати рівень характеристик відновлюваних поверхонь достатнім для експлуатації при температурах до 1100...1150°C.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сорокин, Л. И. Свариваемость литейных жаропрочных сплавов типа ЖС6 [Текст] / Л. И. Сорокин, В. И. Лукин, Ю. С. Багдасаров // Сварочное производство. – 1997. – № 6. – С. 12–17.
2. Сорокин, Л. И. Напряжения и трещины при сварке и термической обработке жаропрочных никелевых сплавов [Текст] / Л. И. Сорокин // Сварочное производство. – 1999. – № 12. – С. 11–17.
3. Звягинцева, Г. В. Структурні та фазові перетворення в жароміцних нікелевих сплавах і їх роль в утворенні тріщин в зварних з'єднаннях [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г. В. Звягинцева. – К., 2007.
4. Черв'яков, М. О. Напружено-деформований стан та технологічна міцність зварних з'єднань високоміцних нікелевих сплавів [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / М. О. Черв'яков. – К., 2007.
5. Особенности сварки высоконикелевых дисперсионотвердеющих жаропрочных сплавов и ремонта изготавливаемых из них изделий [Текст] / В. С. Савченко, К. А. Ющенко [и др.] // Автоматическая сварка. – 1993. – № 10. – С. 31–33.
6. Особенности малоамперной аргонодуговой и микроплазменной порошковой наплавки на узкую подложку [Текст] / А. В. Яровицын, К. А. Ющенко, А. А. Наконечный [и др.] // Автоматическая сварка. – 2009. – № 6. – С. 37–42.
7. Разработка технологии восстановления торцов бандажных полок рабочих лопаток ТВД авиационного двигателя Д18Т методом микроплазменной порошковой наплавки [Текст] / К. А. Ющенко, В. С. Савченко, А. В. Яровицын [и др.] // Автоматическая сварка. – 2010. – № 8. – С. 25–29.

8. Технологический семинар Deloro Stellite в Запорожье [Текст] // Автоматическая сварка. – 2010. – №1. – С. 59–62.
9. Гладкий, П. В. Плазменная наплавка [Текст] / П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев. – К. : Экотехнология, 2007. – 292 с.
10. Яровицин, О. В. Мікроплазмові порошкові наплавлення жароміцних нікелевих сплавів з вмістом γ' -фази 45–65 % [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / О. В. Яровицин. – К., 2009.
11. Ивочкин, И. И. Подавление роста столбчатых кристаллов методом «замораживания» сварочной ванны [Текст] / И. И. Ивочкин // Сварочное производство. 1965. – № 12. – С. 1–3.
12. Ивочкин, И. И. Сварка под флюсом с дополнительной присадкой [Текст] / И. И. Ивочкин, Б. Д. Малышев. – М. : Стройиздат, 1981. – 175 с.
13. Демьянцевич, В. П. Исследование распределения тепла микроплазменной дуги при смещении центра пятна нагрева с оси стыка [Текст] / В. П. Демьянцевич, Н. П. Михайлов // Сварочное производство. – 1973. – № 6. – С. 1–3.
14. Сом А. И. Новые плазмотроны для плазменно-порошковой наплавки [Текст] / А. И. Сом // Автоматическая сварка. – 1999. – № 7. – С. 44–48.
15. Микроплазменная сварка [Текст] / Б. Е. Патон, В. С. Гвоздецкий, Д. А. Дудко [и др.]. – К. : Наук. думка, 1979. – 248 с.
16. Теоретические основы сварки [Текст] / В. В. Фролов, В. А. Винокуров, В. Н. Волченко [и др.] ; под ред. В. В. Фролова. М. : Высш. шк., 1970. – 592 с.
17. Махненко, В. И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций [Текст] / В. И. Махненко. К. : Наук. думка, 1976. – 312 с.
18. Петрик, І. А. Процеси відновлення зварюванням та паянням лопаток газотурбінних двигунів з важкозварюваних сплавів на нікелевій та титановій основі [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / І. А. Петрик. – К., 2007.

Рецензент С. В. Лапицький, д-р техн. наук, проф.
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України)

УДК 623.4.01:623.775

Н. Н. КОЛЧИГИН,*доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой,***В. Н. БЫКОВ,** *доктор физико-математических наук, профессор,***Д. Д. ИВАНЧЕНКО***(Харьковский национальный университет
им. В. Н. Каразина),***В. В. ГЛЕБОВ,** *доктор технических наук,
заместитель Главного конструктора,***Ю. И. ДЕВЯТИЛОВ,** *ведущий конструктор,***С. А. РОЛЕНКО,** *начальник отдела**(ГП Харьковское конструкторское бюро
машиностроения им. А. А. Морозова),***А. М. ГРИЧАНЮК,** *кандидат технических наук
(Харьковский университет Воздушных Сил им.
Ивана Кожедуба)*

Експериментальне дослідження індивідуальних широкополосних маскувальних комплектів

Изложены результаты экспериментальных исследований макетных образцов индивидуальных широкополосных маскувальних комплектів. Приведен об'єм досліджень, методи і засоби оцінки характеристик в різних діапазонах довжин хвиль. Підтверджена ефективність застосування індивідуального широкополосного маскувального комплекта на об'єктах бронетехніки. Определены направления дальнейших работ.

Ключевые слова: исследование, объект, маскувальний комплект, метод, діапазон довжин хвиль, фон, контраст, оцінка.

Наведені результати експериментальних досліджень макетних зразків індивідуальних широкополосних маскувальних комплектів. Наведено обсяг досліджень, методи та засоби оцінки характеристик у різних діапазонах довжин хвиль. Підтверджено ефективність застосування індивідуального широкополосного маскувального комплекта на об'єктах бронетехніки. Визначені напрями подальших робіт.

Ключові слова: дослідження, об'єкт, маскувальний комплект, метод, діапазон довжин хвиль, тло, контраст, оцінка.

Опыт локальных войн и вооруженных конфликтов последних лет показывает, что применение средств маскировки позволяет значительно повысить живучесть войск, военных объектов и сохранить их боеготовность, а также достичь внезапности действий частей и подразделений. При этом затраты не превышают одного процента от стоимости защищаемых образцов [1].

Одним из способов маскировки – средством снижения уровня заметности объектов бронетанковой техники (БТТ) – является применение индивидуальных широкополосных маскувальных комплектов (ИШМК), которые не только изменяют внешний облик защищаемого объекта, но и обеспечивают уменьшение контраста с фоном в оптическом, тепловом и радиолокационном диапазонах спектра. Конструкция ИШМК должна обеспечивать маскировку объекта как на стоянке, так и в движении.

Оценка эффективности ИШМК является необходимой составляющей процесса разработки изделия, подтверждением правильности выбранного направления.

Работы по созданию маскирующих покрытий для наземной мобильной техники проводятся в России, Германии, США, Франции и других странах. Для снижения заметности техники в широком диапазоне спектра получили распространение маскувальные сети со специальными характеристиками, в том числе входящие в индивидуальный комплект защищаемого объекта (рис. 1).

Учитывая отсутствие на Украине соответствующих полигонов и оборудования для измерения характеристик объектов в различных диапазонах длин волн, отечественными учёными и специалистами были разработаны специальные методы измерения и аппаратные средства для проведения натурных испытаний маскувальных покрытий [2–5].

Математическое моделирование измерений коэффициента отражения в свободном пространстве с учетом реального распределения электромагнитных полей позволило оценить влияние параметров используемого оборудования на точность измерений и определить погрешность измерений, связанную с пространственной неоднородностью отраженного поля [5].

Важной является оценка характеристик радиолокационной маскировки, которая состоит в определении степени соответствия достигнутого маскувального эффекта заданным параметрам, например, степени



Рис. 1. Танки «Леопард» со средствами маскировки

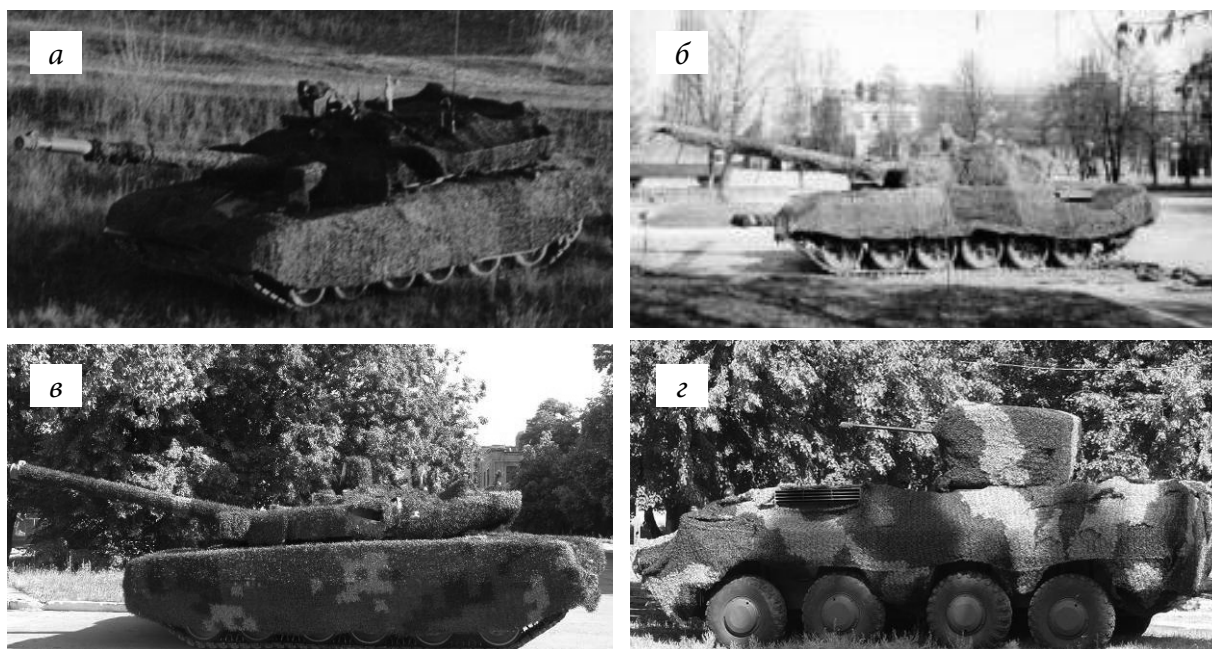


Рис. 2. ИШМК на объектах БТТ:
а, б, в – основной боевой танк; г – бронетранспортёр

соответствия отражательных свойств замаскированного объекта и окружающей местности, на которой объект расположен. Основное требование к материалам, которые поглощают или рассеивают радиоволны, – это обеспечение низкого коэффициента отражения в широком диапазоне частот и широком интервале углов падения. В этом случае методики и аппаратура должны обеспечить измерение малых значений коэффициента отражения в широкой полосе частот и динамическом диапазоне до 30...40 дБ.

Целью статьи является изложение результатов экспериментальных исследований индивидуальных широкополосных маскировочных комплектов.

В начале работы в качестве индивидуального маскировочного комплекта, состоящего из нескольких секций, были применены элементы инженерного маскировочного покрытия “Контраст”. Учитывая положительные результаты испытаний элементов покрытия в составе танка Т-84, катера проекта “Гриф”, комплекса противозушной обороны “Бук”, рекомендовано

разработать комплекты индивидуальных маскировочных покрытий для различных видов вооружения и военной техники, в том числе для объектов бронетанковой техники. В последующем полотна (секции) комплекта изготавливались, исходя из конструктивных особенностей защищаемого объекта. Такая работа была проведена как для основных боевых танков (рис. 2), так и для бронетранспортёра.

В процессе экспериментальных исследований макетных образцов ИШМК проводились:

измерение снижения характеристик заметности в оптическом, инфракрасном (ИК), радиолокационном (РЛ) и радиотепловом диапазонах длин волн;

оценка влияния установленного комплекта на обзорность, функционирование вооружения, поворот башни / боевого модуля;

проверка удобства и надежности крепления секций / полотен комплекта и их отдельных элементов на объекте.

Измерения характеристик радиолокационного отражения объекта проводилось при помощи

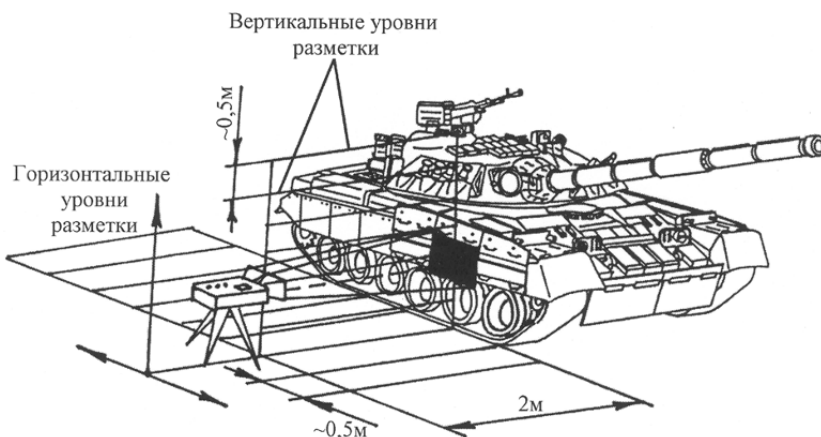


Рис. 3. Схема измерения коэффициентов отражения методом декомпозиции

малогабаритного измерителя коэффициента отражения (МИКО) методом декомпозиции на длине волны 8 мм и 3 см. Используемый метод позволяет производить измерения коэффициентов радиолокационного отражения локальных участков поверхности с большой степенью детализации. Измерения могут выполняться как в заводских, так и в полевых условиях.

В ходе измерений МИКО располагался на расстоянии 2,5 м для 8-мм и 4,7 м для 3-см диапазонов длин волн. Объект устанавливался на ровных площадках под различными ракурсами, что обеспечивало наблюдения в 4-х основных проекциях.

С целью оценки уровня отражения эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) от всей поверхности объекта в наблюдаемом ракурсе производится условное разбиение объекта так, чтобы локальные участки покрывали всю его поверхность. С этой целью на подстилающей поверхности наносится разметка с определенным шагом с учетом зоны («пятна») облучения измерителя, а в вертикальной плоскости регулируется положение прибора по высоте (рис. 3).

Измерения радиотепловых характеристик производились с помощью радиометрического измерительного комплекса (РМИК) на длине волны 8 мм. Структурная схема РМИК показана на рис. 4. Поворотная платформа, на которой размещалась антенна и высокочастотная часть радиометрического приёмника, осуществляли обзор пространства в диапазоне углов: по азимуту 360°; по углу места 180° (от надира). Время полного поворота в азимутальной плоскости – 10...120 с.

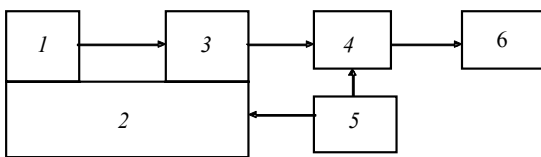


Рис. 4. Структурная схема:

1 – приемная антенна; 2 – опорно-поворотное устройство; 3 – радиометрический приемник; 4 – аналого-цифровой преобразователь; 5 – блок управления и синхронизации; 6 – персональная ЭВМ

Измерение характеристик ИК излучения объекта и естественных фонов для оценки тепловой заметности изделия проводились с помощью радиометра пирозлектрического РП-01 (далее – радиометр) в диапазоне длин волн 7...14 мкм.

Для экспериментальных измерений радиометр располагался на горизонтальных площадках на расстоянии порядка 4 м от объекта. Объект измерений ориентировался под различными ракурсами по отношению к радиометру, что обеспечивало его наблюдение в 4-х основных проекциях: нос, правый борт, корма, левый борт. Измерения проводились при холодном двигателе и прогревом, после совершения пробега.

Суммарная сила излучения объекта в заданном направлении (α, β) определялась в результате суммирования по всем излучающим поверхностям:

$$I(\alpha, \beta) = \sum_i I_i(\alpha, \beta), \quad (1)$$

В зависимости от расстояния между приемником ИК излучения и объектом, а также от размеров пятна визирования возможны два случая: первый – когда размеры пятна превышают линейные проекции объекта, второй – размер пятна значительно меньше размеров объекта.

В первом случае для оценки контраста, учитывая, что

$$I_i = B_i S_i, \quad (2)$$

где B_i – яркость, а S_i – проекция i -й поверхности, бралось отношение среднего значения интенсивности излучения объекта и среднего значения интенсивности излучения фона.

Оценке по оптическому/визуальному распознаванию на различных дальностях подвергался объект с установленным маскировочным комплектом и без него. Объект располагался на различных расстояниях от наблюдателей. Оценка возможности распознавания объекта производилась экспертным методом. При наблюдении невооруженным глазом на расстоянии до 100 м объект идентифицируется. С увеличением расстояния до 200...250 м возможно распознать замаскированный объект. Идентификация затруднена, особенно при виде спереди (рис. 5). На дальностях более 500 м замаскированный объект распознать практически невозможно, на месторасположение объекта указывают выхлопные газы работающего двигателя.

Результаты испытаний показали положительный эффект применения ИШМК для маскировки подвижных объектов, которыми является бронетанковая техника, и подтвердили правильность выбранного направления работ по снижению уровня заметности [6].

Снижение величины радиолокационного отражения в горизонтальной поляризации падающего поля составило не менее 10 раз. Снижение радиотеплового контраста составило не менее 4 раз. Снижение уровня ИК излучения с помощью индивидуального широкополосного маскировочного комплекта при прогревом после совершения пробега двигателя обеспечивается. При этом:



Рис. 5. Танк с ИШМК на фоне леса (дальность 200 м)

снижение контраста зафиксированных ярких элементов в изображении объекта (по отношению к окружающему фону) при применении маскирующего покрытия и наблюдении в интегральном тепловом канале составило приблизительно 1,9 раза ($\sim -2,75$ дБ);

снижение контраста зафиксированных ярких элементов в изображении объекта (по отношению к окружающему фону) при применении маскирующего покрытия при оценке растровых изображений составило около 3,3 раза ($\sim -5,1$ дБ);

снижение контраста танка в диапазоне 3...14 мкм, измеренное в области двигателя, составило 2,6 раза ($\sim -4,2$ дБ).

Снижения уровня ИК излучения при холодном двигателе не обнаружено.

Измерения тепловых характеристик объекта с ИШМК при суточном цикле не проводились.

Расположение, форма, размеры и цветовая гамма пятен полотен комплекта в основном соответствуют требованиям документации на деформирующее окрашивание объекта защиты. Обеспечивается визуальное изменение облика изделия. Возможность крепления полотен макетного образца ИШМК обеспечивается и не вызывает затруднений. При движении объекта по пересечённой и лесистой местности повреждений комплекта обнаружено не было.

Наличие макетного образца ИШМК на объекте оказывает влияние на пользование приборами наблюдения и прицеливания с мест экипажа (зоны обзора) и функционирование вооружения изделия. Отмечен ряд незначительных замечаний.

Построение маскирующих покрытий с одновременным использованием физических принципов поглощения, направленного отображения и диффузного рассеяния позволяет эффективно снизить (или повысить) уровень отраженного сигнала, при этом увеличиваются возможности формирования необходимых поляризационных и частотных характеристик поля защищаемого объекта.

Выводы:

1. Испытания индивидуального широкополосного маскировочного комплекта подтвердили его эффективность по снижению уровня заметности объектов бронетанковой техники. Затраты на доработку самого объекта для установки комплекта незначительные, боевые и эксплуатационные свойства объекта не изменяются.

2. Методы и средства оценки позволили провести измерения в различных условиях характеристик материала комплекта, в том числе и в процессе проведения испытаний ИШМК на объекте.

3. Целесообразно разработать технические требования, изготовить и провести испытания опытных образцов ИШМК на различных объектах БТТ, в частности, измерение тепловых характеристик при суточном цикле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слепнев, А. Современная маскировка для бойцов и техники [Электронный ресурс] / А. Слепнев, Ю. Бурмицкий // Военный парад. – Ноябрь–декабрь 2006. – Режим доступа: www.otvaga2004.ru.
2. Колчигин, Н. Н. Декомпозиционный способ определения ЭПР объектов сложной формы [Текст] / Н. Н. Колчигин, И. И. Васильченко // Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна : зб. наук. праць. Сер. Радіофізика та електроніка. – 1998. – № 405. – С. 87–90.
3. Измерение радиолокационных характеристик образцов техники в полевых условиях [Текст] / И. И. Васильченко, В. В. Глебов, Д. Д. Иванченко [и др.] // Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна : зб. наук. праць. Сер. Радіофізика та електроніка. – 2002. – № 570. – С. 287–290.
4. Hand-held reflektometers and radiometers and their application [Text] / V. N. Bykov, I. I. Vasilchenko, V. V. Glebov [at alias] // IVth International Conference on Antenna Theory and Techniques, Sevastopol, Ukraine, 9–12 September 2003. – Pp. 701–702.
5. Методы оценки и средства снижения радиолокационной заметности объектов бронетанковой техники [Текст] / И. И. Васильченко, В. В. Глебов, Д. Д. Иванченко [и др.] // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2010. – № 1. – С. 21–25.
6. Під українським маскувальним покриттям – танка не видно / М. В. Ткаліч, М. Д. Топчев, В. О. Комаров [и др.] // Винахідник і раціоналізатор. – 2002. – № 2–3. – С. 5–6.

Рецензент М. І. Васьківський, д-р техн. наук, проф. (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України, м. Київ)

M. BUHERA,*advanced student**(Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv)*

Method of morphological analysis of patent information for the construction of forecasting statistical model of dynamic type protective devices development

Наведений метод патентних досліджень з використанням статистичної обробки патентної інформації, що відрізняється від відомих застосуванням статистичної моделі прогнозу розвитку захисних пристроїв динамічного типу, побудованої за допомогою морфологічного аналізу.

Ключові слова: метод морфологічного аналізу, патентна інформація, захисні пристрої динамічного типу, технічні рішення, озброєння і військова техніка.

Рассмотрен метод патентных исследований с использованием статистической обработки патентной информации, отличающийся от известных применением статистической модели прогноза развития защитных устройств динамического типа, построенной с использованием морфологического анализа.

Ключевые слова: метод морфологического анализа, патентная информация, защитные устройства динамического типа, технические решения, вооружение и военная техника.

Problem statement and literature review. Currently different means of dynamic type (DT) are used for the protection of armored vehicles, they are enough analyzed, for example, in works [1, 2, 7, 10, 11], but all these works consider existing technical solutions (TS) that are technically implemented in completed samples of military equipment.

Taking into consideration the tendency of development and quality changes of the means of destruction, the forecasting process of the development of dynamic type protective devices (DTPD) becomes very important. It can be traced by analyzing patenting information on technical solutions that were not technically implemented.

Dynamic protection is a kind of protection of combat armored vehicles (tanks), which proved its effectiveness during the combat actions in ATO area. Taking into consideration the development of antitank weapons, existing level of armored protection, including DTPD, can not fully ensure the protection of tanks.

The analysis of patenting information on the DTPD means of weapon and military equipment shows the intensity of patenting activities in the course of the years (Fig.1) both in our country and abroad – Russia, Israel, US, Germany and Great Britain.

The need for dynamic protection was demonstrated with the emergence of Israeli tanks with «reactive» («explosive») armor during Lebanese war in 1982, this armor revolutionized the principles and methods of armoring of armored combat vehicles (ACV) [1].

Analyzing the dynamics of patenting curve, it is easy to claim that in the given time interval dynamics of patenting is not a monotonically increasing function, and there are jumps (areas of rapid growth), which, in its turn, associated with military actions (activity) and ACV employment (tanks).

Thus, given intensity of DTPD patenting from year to year demonstrates that the biggest quantity of patent documents have been submitted in the course of following military actions : 1996-1998 – conduction of military operations of the Russian Federation in the Chechen Republic, 2001-2006 – The beginning of US combat operations in Iraq and conflicts in the Middle East. Protective means provide increased resistance of armored combat vehicles (tanks) in 2-3 times and it was proved during the war against Georgia in South Ossetia, at the beginning of the war in Syria (2008–2013), moreover, combat actions during antiterrorist operation on the territory of Donetsk and Luhansk regions (mid of 2014 to the present) also demonstrate the urgent need for the development or modernization of DTPD samples.

Given patenting dynamics determines the amount of inventions and patenting activity from year to year and it does not allow forecasting the directions of further development of samples.

Analysis of the patenting dynamics curve, shown in Fig. 1, of the investigated technical direction allows concluding that this way to improve protection at the expense of DTPD is under development stage. It is possible to conclude that after a certain period of time, equal to the production period and implementation of technological solutions (direction), submitted documents (obtained patent documents) will

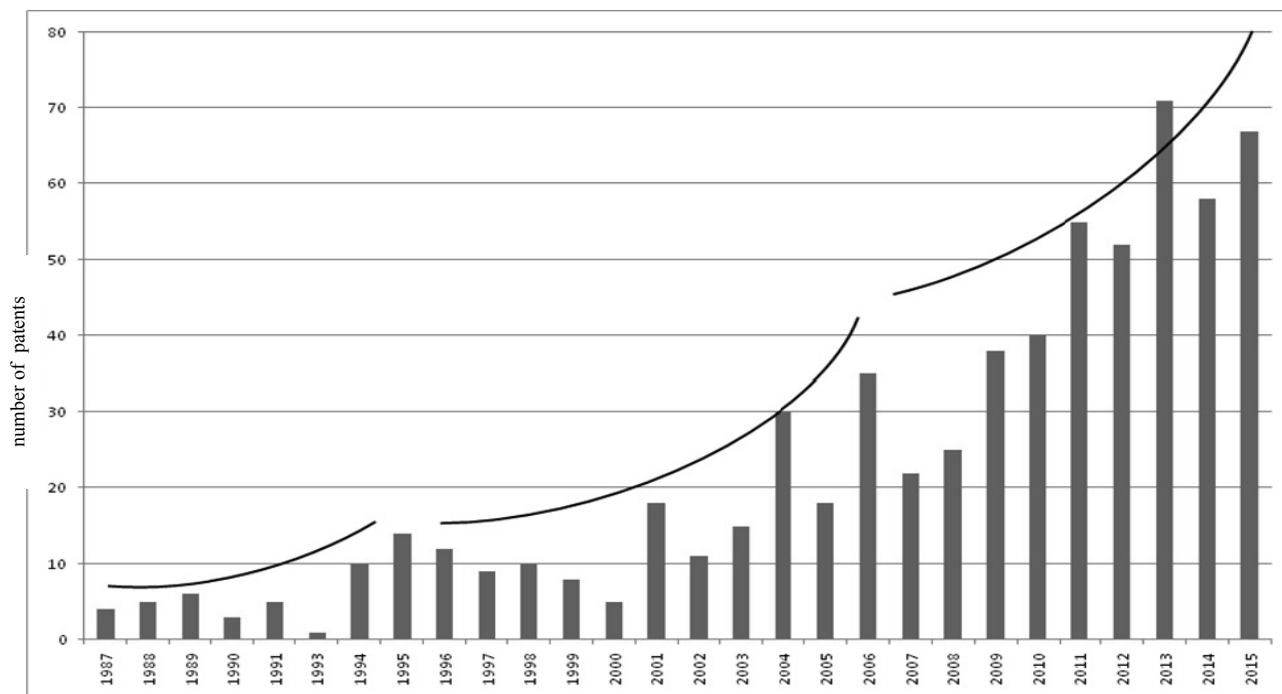


Fig. 1. Intensity (dynamic) of the patenting activities in the course of the years

occupy a dominant position in the production followed by the trend of progressive development.

The tool for forecasting of the development of new models, that ensures patentability and non-infringement of patents, is conduction of researches throughout the life cycle of WME sample using technological level estimation method. Widely used method of the technical level assessment includes a statistical analysis that based on the chronological study of quantitative indicators (volumes of DTPD patent information (documents)) can identify differences between sample and prototype, leading countries and companies, informative analysis of technical solutions that show specific ways of development and give an objective assessment of the technical level. However, this method does not allow to assess qualitatively the probability of occurrence of qualitative stage – the appearance of fundamentally new technical solutions based on the examination of the development of DTPD properties, and to formulate requirements for effective characteristic parameters of DTPD.

Thus, **the object of study** is the process of forecasting of DTPD development and the **subject of the study**, based on domain, is the patent research method (PRM) of statistical processing of patent information with the application of morphological analysis (MA).

Therefore, the development of methods of forecasting of DTPD development is driven by the need to solve (objectively existing in DTPD means) contradiction between the use of statistical methods for processing patenting information, on the one hand, and predictive estimate of properties development, on the other hand, the solution of which will help to consider properties and, consequently, to predict and to offer DTPD technical implementation.

Based on the purpose of the study, **the scientific objective** of the study is the development of PRM by using

statistical processing of patenting information with the application of a statistical forecasting model of DTPD development, constructed using morphological analysis.

Defined contradictions in the science and practice allow determining following critical **tasks of research**:

- baseline study of forecast methods of DTPD development;
- analysis of the existing PRM with the use of statistical analysis;
- theoretical studies of statistical forecast model of DDTP development using MA;
- PRM development and experimental research taking into account statistical forecast model of DTPD development using MA;
- implementation of the proposed method using forecast of the DTPD development as an example.

Fig. 2 shows the classification of methods that are used in development forecasting [3]. Each classification level is characterized by its classification feature [4]. At the first level all methods are divided into three classes on the basis of “information base” (fact graphic, combined, expert). Further, these classes are divided into subclasses based on «principles of information processing» (statistics, analog, with feedback, advanced, direct). For the forecast of assessment mentioned classification suggests that following forecasting methods with the use of mathematical apparatus formed the base of application: extrapolation and interpolation, regression and correlation, factor models, mathematical analogy, historical analogy, art search and others.

In our case, the art search is conducted, as a rule, with the help of following methods: general determining tables; ratio analysis of the completeness of the art; method of expert estimates. Currently these methods are used at the Central Research Institute of Weapons and Military Equipment

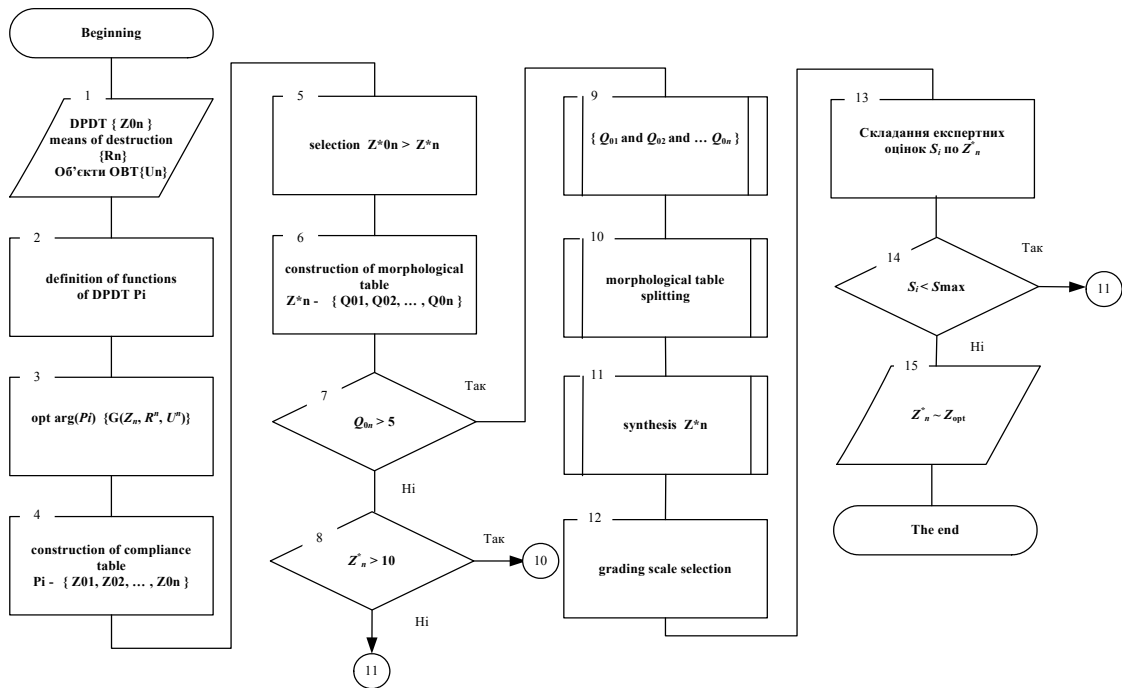


Fig. 2. Classification of forecasting methods [4]

of the Armed Forces of Ukraine for evaluation of the WME technical level. When analyzing patent information, mathematical and technical analogies are used due to invention growth model. The above mentioned classification shows that forecast estimate methods are used more often.

Problem could be solved by using the method of morphological analysis (MMA) as one of the methods of analysis of technical systems, which can help to solve contradictions and can be forecasting tool of not yet developed inventions, including DTPD and it is one of the means that describes DTPD optimal parameters, needed for the task execution (WME protection). This MMA allows to take into account the properties and, accordingly, to predict and construct a forecasting model.

The main stages of methodical approach with the usage of MMA during DTPD development forecasting are following:

task definition and DTPD complex definition (classification of the means according to standard principles of action or design features), needed for task performance (WME protection);

determination of morphological characteristics (MC) of DTPD (essential elements that define its basic functions and change which leads to the creation of a new type of LLTP);

development of morphological model n the form of folded and unfolded matrices). All possible options for matrix implementation are defined for each MC;

definition of criteria for evaluating the effectiveness of various option of implementation of the chosen DTPD characteristic parameters;

analysis of the simulation results n terms of identifying MC excessive components and DTPD MC determination (characteristic parameters), suitable for the search of new options of DTPD TC;

synthesis of possible combinations of states of selected characteristic parameters that define the structure of DTPD implementation by choosing one element from each row of the morphological matrix and their combinations;

detection of combinations of the characteristic parameters which are not described in patent documents and technical literature;

evaluation of the effectiveness of new combinations of characteristic parameters (comparison) and a selection of those that should be developed in the future.

Specified methodical approach allows identifying the main features possible options of their implementation and evaluating the effectiveness of different options, to accomplish synthesis of possible characteristic parameters.

Based on this methodical approach, the work presents (maps out) functional diagram of morphological analysis algorithm that allows forecasting (selecting) optimal DTPD characteristics taking into account PI for improving DTPD elements and changes of tactical and technical characteristics of means of destruction, shown in Fig.3 as "Morphological analysis algorithm."

Based on the analysis of characteristics of modern DTPD and patenting information on DTPD morphological analysis algorithm it is possible to solve a scientific problem – to develop requirements for optimal DTPD performance that will provide an appropriate level of WME protection.

Conclusion

1) For the first time we presented the dynamics of patenting activity intensity from year to year both in our country and abroad, which is associated with the trends in the development of samples and world events.

2) Forecasting methods were analyzed.

3) Suggested method of morphological analysis allows predicting development assessment of DTPD properties.

4) The paper defined the main stages of the methodological approach when forecasting DTPD development.

5) Applied algorithm of morphological analysis allows forecasting of optimal characteristic parameters to improve DTPD elements and to create new sample taking into account patent information.

REFERENCES

1. Чепков, И. Б. Классификация защитных устройств динамического типа [Текст] / И. Б. Чепков // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2004. – № 3. – С. 24–28.
2. Чепков, И. Б. Основные направления и проблемы совершенствования взрывных защитных устройств [Текст] / И. Б. Чепков, С. В. Лапицкий // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2005. – № 2. – С. 30–36.
3. Старик, Д. Э. Прогнозирование и эффективность научно-технического прогресса [Текст] / Д. Э. Старик, В. И. Каспин. – М. : МАИ, 1975. – 60 с.
4. Теория прогнозирования и принятия решений [Текст] : учеб. пособ. / под ред. С. А. Саркисяна. – М. : Высш. шк., 1977. – 351 с.
5. Чепков, І. Б. Прогнозування розвитку захисних пристроїв динамічного типу [Текст] / І. Б. Чепков, М. Г. Бугера, М. І. Васківський // Збірник наук. праць / ЦНДІ ОБТ ЗС України. – 2015. – № 58. – С. 160–164.
6. Чепков, И. Б. Основные направления развития защитных устройств динамического типа [Текст] / И. Б. Чепков, А. Н. Тарасенко // Проблемы. Перспективы. – 2007. – № 7. – С. 67–75.
7. ГОСТ 15.012–84. Система разработки и постановки продукции на производство. Патентный формуляр [Текст].
8. Орленко, Л. П. Физика взрыва [Текст] : учеб. пособие для вузов / Л. П. Орленко. – 2-е изд. – М. : Физматлит, 2002. – 656 с.
9. Конструкция навесной динамической защиты танка М-48А3 (США) [Текст] / В. Н. Брызгов [и др.] // Вестник бронетанковой техники. – 1984. – № 1. – С. 38–45.

IV Міжнародна науково-практична конференція “Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки”: основні підсумки та завдання на майбутнє

У період з 11 по 14 жовтня 2016 року в Києві в Міжнародному виставковому центрі відбулася чергова XIII Міжнародна спеціалізована виставка “Зброя та безпека – 2016”. У рамках виставки Міністерством оборони (МО) України 12 та 13 жовтня було проведено IV міжнародну конференцію “Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки”.

Основним співорганізатором конференції був Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил (ЦНДІ ОВТ ЗС) України – провідна наукова установа МО України, головним призначенням якої є проведення фундаментальних, пошукових та прикладних досліджень, спрямованих на наукове обґрунтування пріоритетних напрямів воєнно-технічної політики України у сфері розробок і модернізації ОВТ, науково-технічне супроводження розробок ОВТ під час їх реалізації та вирішення багатьох інших питань з технічного оснащення Збройних Сил України.

Виставка та конференція підбили підсумки роботи, що була проведена в Україні протягом останніх років у сфері забезпечення обороноздатності держави,

підвищення рівня технічної оснащеності ЗС України, військових формувань інших силових відомств та пошуку шляхів їх подальшого вдосконалення.

У ході цих заходів ще раз було зазначено, що **воєнно-технічна політика України** є найважливішою складовою її воєнної (воєнно-економічної) політики, яка спрямована, головним чином, на підтримання рівня технічного оснащення ЗС України в стані, що забезпечує їх високу боєздатність та гарантує готовність до виконання покладених на них функцій за призначенням.

Основними складовими (сферами) воєнно-технічної політики України є:

розвиток ОВТ (розроблення нових або модернізація існуючих) та оснащення ними військових формувань;

розвиток науково-технічної, дослідно-конструкторської та виробничо-технологічної галузей оборонно-промислового комплексу (ОПК);

експлуатація зразків, комплексів і систем ОВТ, у тому числі їх утилізація;

військово-технічне співробітництво (ВТС) з іншими країнами;

Проблеми, що впливають на розвиток ОВТ

Наявність значної частки небоездатного та застарілого (з низьким технічним рівнем) ОВТ

Недостатня ефективність засобів розвідки і радіоелектронної боротьби та невисокий ступінь автоматизації процесів управління військами і зброєю

Брак сучасних засобів ведення бойових дій та незадовільна якість частини ОВТ, що поставлялися для потреб сил безпеки і оборони України

Недостатні темпи оснащення необхідним ОВТ сил безпеки і оборони України в умовах особливого періоду

Неготовність промисловості України до швидкого задоволення нагальних потреб у ОВТ



технічне забезпечення воєнних (бойових) дій угруповань військ (сил);

професійна військово-технічна підготовка особового складу;

екологічна безпека діяльності у військово-технічній сфері тощо.

Дослідження ЦНДІ ОВТ ЗС України, інших наукових установ України та досвід провідних країн світу доводять, що вирішення головного завдання воєннотехнічної політики – підтримання технічного оснащення ЗС України в належному стані – залежить від низки факторів. Серед них:

потреба ЗС України в зразках ОВТ (кількісно-якісні показники);

наявність в Україні наукової та промислової бази, а також її спроможність щодо розроблення, модернізації, серійного виробництва та капітального ремонту зразків ОВТ, що знаходяться (потрібні) на оснащенні ЗС України;

наявність наукових, технологічних та виробничих зв'язків з іншими країнами світу щодо спільного розроблення, серійного виробництва, модернізації або ремонту зразків ОВТ визначеної номенклатури чи їх придбання (закупівля, лізинг тощо);

наявність необхідного обсягу коштів для забезпечення процесів технічного оснащення ЗС України.

Виставка **“Зброя та безпека – 2016”**, в рамках якої проводилася конференція, була організована згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України відповідно до рішення Ради національної безпеки і оборони України в січні 2016 року.

Вона є результатом плідної співпраці РНБО України, МО України та Державного концерну

“Укроборонпром”, частиною спільних заходів щодо комплексного переозброєння ЗС України на нові сучасні зразки ОВТ з максимальним використанням можливостей вітчизняного ОПК.

На цьогорічній виставці було продемонстровано, що головним інструментом при виконанні завдань з удосконалення та практичної реалізації воєннотехнічної політики України є проведення досліджень за проблемними напрямками, отримання достовірних результатів та їх обов'язкове впровадження в практику (у зразках ОВТ, у діяльності військ). Результати наукових досліджень поступово стають основою для прийняття управлінських рішень МО України, Генеральним штабом (ГШ) ЗС України та іншими органами військового управління.

За підсумками ознайомлення з більшістю експозицій 2016 року слід зазначити, що виставка організована в напрямі реалізації цілей і завдань, що сформульовані в керівних документах України, а зразки ОВТ, що були представлені на виставці, у більшості відповідають заходам Державної цільової оборонної програми розвитку озброєння та військової техніки на період до 2020 року, потребам й вимогам МО України та є вкрай необхідними для технічного оснащення вітчизняних ЗС.

Цього року у виставці взяли участь більше 400 підприємств промисловості України та 45 компаній з 12 іноземних держав.

Стенд МО України включав експозиції ЦНДІ ОВТ ЗС України, Державного науково-дослідного інституту авіації, Національного університету оборони України ім. Івана Черняховського та Державного науково-випробувального центру ЗС України. На ньому були представлені інформаційно-рекламні матеріали, у тому числі



аудіовізуальні, щодо основних напрямів діяльності зазначених наукових установ, складу їхньої науково-експериментальної бази, основних результатів досліджень.

Участь структурних підрозділів та наукових установ МО України в заходах спеціалізованої виставки є одним зі способів моніторингу інноваційних розробок у різних галузях науки та промисловості, що сприятиме формуванню нових поглядів держави на перспективи розвитку й переоснащення ЗС України та інших силових структур, а також на можливість започаткування нового етапу співробітництва в галузі розробок та модернізації продукції оборонного призначення.

Події останніх років призвели до згортання ВТС України з Російською Федерацією та СНД, що створило додаткові перешкоди на шляху реалізації Україною багатьох військово-технічних програм. Тому Україна має переводити військово-технічні відносини з країнами СНД переважно у двосторонній формат, а також активізувати зусилля щодо пошуку нових зовнішньополітичних і зовнішньоекономічних партнерів і союзників у перспективних для України регіонах Близького Сходу, Латинської Америки, Африки та Азійсько-Тихоокеанського регіону з метою закупівлі або отримання у вигляді військово-технічної допомоги необхідних для задоволення потреб ЗС України ОВТ або комплектуючих до них.

З цією метою до участі у виставці були запрошені та відвідали її військові делегації таких іноземних країн як Румунія, Ісламська республіка Пакистан, Об'єднані Арабські Емірати, Держава Катар, Латвійська Республіка, Литовська Республіка, Бахрейн, а також військові аташе близько 40 іноземних країн, які акредитовані в Україні.

З багатьма іноземними представниками керівництво МО України, ДК "Укроборонпром", ЦНДІ ОВТ ЗС України провели двосторонні та багатосторонні зустрічі з обговоренням перспектив розвитку співробітництва у військовій та оборонно-промисловій галузях.

Питання теоретичного обґрунтування та практичної реалізації воєнно-технічної політики України й плани

на майбутнє у цій важливій сфері були розглянуті у ході науково-практичної конференції.

У перший день конференції було проведено пленарне засідання, на якому обговорювалися ґрунтовні питання планування та реалізації воєнно-технічної політики, що стоять перед Україною, її ОПК та ЗС.

Із вступною промовою та привітанням до учасників від імені керівництва МО України на відкритті конференції виступив заступник Міністра оборони України генерал-лейтенант Павловський І.В.

Він нагадав, що досвід передових країн світу свідчить про необхідність розгляду воєнно-технічної та оборонно-промислової політики як основних механізмів стратегії воєнної політики держави, як системи науково обґрунтованих поглядів з питань розвитку озброєння та національного ОПК. При цьому вона здійснюється не тільки з метою підтримки технічного оснащення ЗС на рівні сучасних вимог, але й відіграє роль генератора наукових ідей та розробок озброєння, дає вихідні дані для планування розвитку ОПК та видатків оборонного бюджету. Спираючись на неї, здійснюється вибір пріоритетів, певних напрямів та послідовності дій держави в цій сфері.

Цілком зрозуміло, що від того, яка в Україні проводиться воєнно-технічна та оборонно-промислова політика, залежить й рівень технічного оснащення ЗС, інших складових сектору безпеки і оборони України, розвиток та можливості ОПК, ефективність міжнародного ВТС, що, врешті-решт, визначає й спроможність самостійно забезпечити оборону національної території.

Результатом спільної роботи МО України, Міністерства економічного розвитку і торгівлі України, ДК "Укроборонпром", інших установ та організацій України, що працюють у сфері організації та реалізації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики України, стало опрацювання ряду документів. У тому числі:

Стратегічного оборонного бюлетеня України;

Концепції розвитку сектору безпеки і оборони України;



Державної цільової оборонної програми розвитку озброєння та військової техніки на період до 2020 року;

Концепції Державної цільової програми реформування та розвитку оборонно-промислового комплексу України на період до 2020 року;

проекту Закону України “Про військово-технічне співробітництво” та інших документів.

Зокрема, МО України, за участі ЦНДІ ОВТ ЗС України та інших наукових установ розроблена та 30 березня 2016 року затверджена Кабінетом Міністрів України *Державна цільова оборонна програма розвитку ОВТ на період до 2020 року* (далі – Програма). Заходи Програми з розроблення нових та модернізації існуючих зразків ОВТ передбачають модульність побудови і уніфікацію ОВТ, що виключає їх дублювання. У ній визначені *пріоритетні напрями розробки і створення сучасних високоєфективних систем озброєння*:

розробка перспективних комплексів озброєння, що забезпечують застосування новітніх (проривних) технологій; створення сучасної телекомунікаційної інфраструктури ЗС;

розвиток сил стримування і засобів протидії; розробка й створення робототехнічних комплексів військового призначення й безпілотних літальних (а в перспективі – морських) автономних апаратів;

розвиток систем автоматизації озброєння тощо.

Серед заходів Програми *пріоритетними напрямами розвитку ОВТ для забезпечення потреб наземної складової сил безпеки і оборони України, які задіяні в АТО, є створення і закупівля*:

а) сучасних засобів зв'язку, радіоелектронної боротьби та автоматизованого управління;

б) засобів артилерійської розвідки та навігації;

в) безпілотних розвідувальних авіаційних комплексів різних класів;



г) наземних, повітряних, морських високоточних засобів ураження, високоточних ракетно-артилерійських та протитанкових систем, керованих авіабомб;

д) сучасних високозахисених бойових броньованих машин, стрілецької зброї підвищеної дальності стрільби, елементів високозахисеного екіпірування військово-вослужбовців;

е) інтегрованої системи управління, збору та обробки розвідувальної інформації тощо.

У роботі конференції та обговоренні питань на пленарному засіданні взяли участь керівники та фахівці органів виконавчої влади та оборонної промисловості України (ДК “Укроборонпром”, генеральні конструктори ДП “Державне Київське конструкторське бюро “Луч”, ДП “Антонов”, ДП “Харківське конструкторське бюро з машинобудування імені О. О. Морозова” тощо), представники науково-дослідних установ Національної академії наук України, та близько 300 спеціалістів структурних підрозділів МО України і ГШ ЗС України. У своїх промовах вони розповіли про досягнення їх організацій та установ у сфері створення нових та модернізації наявних зразків ОВТ, труднощі, що стоять на заваді реалізації накреслених планів і програм, перспективи та можливості їх подолання, про плани подальшого розвитку тощо.

З іноземних делегацій участь у конференції взяли експерти США, Київська асоціація військових аташе, а саме військові аташе Італії, Норвегії, Латвії, Азербайджану та Туркменістану.

У другій частині пленарного засідання конференції була проведена українсько-американська дискусійна панель з питань оборонного співробітництва та експортного контролю за участю представників оборонної

промисловості США та України, Мінекономрозвитку, Державної служби експортного контролю, МО та ГШ ЗС України.

У ході дискусійної панелі були заслухані презентації щодо функцій Бюро промисловості та безпеки, торгівлі технологіями подвійного призначення між США та Україною, а також стратегії реформування ОПК України. Обговорювались питання американо-українського оборонного співробітництва та реформ, що необхідно здійснити для його покращення.

Другий день конференції був організований по секціях, склад яких відбивав функціональну належність ОВТ до організаційних структур ЗС України (видів ЗС та родів військ) та напрямів роботи науково-дослідних управлінь ЦНДІ ОВТ ЗС України:

перша – перспективи розвитку ОВТ Сухопутних військ;

друга – перспективи розвитку ОВТ Повітряних Сил;

третя – перспективи розвитку ОВТ спеціальних військ;

четверта – перспективи розвитку ОВТ Військово-Морських Сил.

На засіданнях секцій були обговорені питання щодо посилення взаємодії ЗС України, інших військових формувань та вітчизняної оборонної промисловості, обґрунтування перспектив розвитку ОВТ, а також проблемні питання оснащення ЗС України сучасними зразками ОВТ та спеціальної техніки, що були виявлені в ході проведення АТО. За результатами обговорень цих проблемних питань представниками видів ЗС, родів військ, оборонної промисловості, провідних вчених НАНУ, ЦНДІ ОВТ ЗС України та інших наукових



Розроблення та модернізація авіаційної техніки і озброєння Повітряних Сил ЗС України

Напрями:

- розширення номенклатури авіаційних засобів ураження та удосконалення системи управління озброєнням
- удосконалення пілотажно-навігаційного комплексу та зв'язкового обладнання
- інтеграція комплексу оборони літака
- підвищення ефективності ведення повітряної розвідки, радіоелектронної розвідки, передача інформації на КП у реальному масштабі часу
- взаємодія з АСУ ЗСУ

Модернізація літаків до варіанта Су-27МУ2



Модернізація літаків до варіанта МиГ-29МУ2



Модернізація літаків Су-24МР



Модернізація літаків до варіанта Су-25МУ2



Модернізація літаків Су-24М



Модернізація вертольота Ми-14ПЛ(ПС)



Закупівля навчально-бойових літаків



Розробка патрульного літака



установ МО України були визначені основні проблеми та запропоновані шляхи їх вирішення.

Результатом плідного обговорення винесених на конференцію питань стали науково обґрунтовані пропозиції щодо подальшого вдосконалення в найближчій перспективі військово-технічної та оборонно-промислової політики України з метою оснащення ЗС та інших складових сектору безпеки і оборони України сучасними та

перспективними зразками ОВТ, з урахуванням економічних реалій та можливостей України.

На конференції було констатовано, що, виходячи з економічних можливостей України, у найближчий 15-річний перспективі ОВТ будуть вдосконалюватися, головним чином, еволюційним шляхом, але зростання окремих ключових параметрів (на порядок і більше) додасть їм здатність вирішувати принципово нові задачі

Розроблення та модернізація ОВТ ВМС

Напрями:

- підвищення вогневої могутності
- збільшення (оновлення) корабельного (катерного) складу
- підвищення ефективності засобів розвідки та спостереження

Модернізація фрегата проекту 1135.1



Розроблення ПКР корабельного та берегового базування



Розроблення ЗРК корабельного базування



Розроблення протидиверсійного та десантного катерів



Розроблення ракетного катера



Переоснащення судна проекту 502 у розвідувальний корабель



Розроблення малого броньованого артилерійського катера



(за рахунок якісно нових систем керування військами й зброєю, розвідувально-інформаційно-навігаційних систем, автоматизованих систем зв'язку, засобів інформаційного протиборства, роботизованих бойових засобів, різних видів зброї на нових фізичних принципах, нового покоління високоточної зброї, підвищення тактико-технічних характеристик більшості видів і типів ОВТ тощо).

У той же час, учасники конференції зазначили, що на сьогодні є ряд факторів, які негативно впливають на темпи, якість оновлення і розвиток ОВТ. Серед них:

1. Наявність суттєвих протиріч між реальними потребами військ у ОВТ, що накопичувались роками, та наявними фінансово-економічними можливостями держави.

2. Оборонна промисловість України спроможна забезпечити реальні потреби ЗС України по всій номенклатурі ОВТ тільки на рівні до 10%.

3. Недостатнє використання можливостей фундаментальної науки.

Для їх подолання в довгостроковій перспективі необхідно вже зараз почати реалізацію таких заходів:

1. Створення науково-технічного і технологічного набутку за рахунок проведення фундаментальних та пошукових досліджень для розроблення новітніх видів зброї.

2. Організацію ліцензійного виробництва сучасних ОВТ в Україні та трансфер технологій.

3. Розширення інноваційної складової при створенні нових видів продукції оборонного призначення та успішної реалізації нових інноваційних проектів.

4. Використання набутоків та залучення виробників недержавного сектору до проектів з розробки ОВТ тощо.

Вирішення зазначених проблем і завдань та зосередження наукового, економічного і промислового потенціалів України на питаннях технічного оснащення ЗС України та сил сектору безпеки і оборони надасть можливість суттєво підвищити обороноздатність держави.

Велику роль у науковому обґрунтуванні та практичному рішенні зазначених на конференції проблем відіграють спеціалісти ЦНДІ ОВТ ЗС України та інших наукових установ МО України.

За підсумками проведення конференції Міністром оборони України доручено ЦНДІ ОВТ ЗС України врахувати її результати у своїй подальшій роботі та, зокрема, при розробці концептуального документа – Основних напрямів розвитку ОВТ на довгострокову перспективу, а також провести системні дослідження щодо вивчення основних закономірностей та специфічних особливостей організаційної побудови оборонної промисловості в технологічно розвинених країнах з ринковою економікою з метою їх застосування під час реформування та розвитку ОПК України.

Матеріали конференції опубліковані в збірнику тез.

О. М. Рябець, кандидат технічних наук,
В. К. Борохвостов, кандидат технічних наук
 (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України)

Resume

MILITARY TECHNICAL POLICY

Chepkov I., *Doctor of Engineering Science, Professor,*

Lukhanin M., *Doctor of Engineering Science, Professor,*

Borokhvostov I., *Ph.D. in Engineering Science*

(Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

BASIC ASPECTS OF METHODOLOGY OF FORMATION AND SUPPORT OF MEDIUM-WEAPONS PROGRAM DURING A SPECIAL PERIOD

We describe a retrospective adoption and the current state of the system-conceptual, regulatory and program-routine defence planning documents in Ukraine and their impact on the creation of system-wide research. Based development methodology of formation of medium-term programs of development of arms and military equipment through the use of schemes of regular system models. The main aspects of the new methodology for the scientific substantiation of actions weapons programs and their differences in the formation in peacetime and in the conditions of the special period.

Keywords: *medium-term programs, development of arms, weapons programs.*

Zhdanov S. V., *Ph.D. in Engineering Science*

(Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

PROBLEM OF REPLACING THE FLEET OF COMBAT AIRCRAFT IN UKRAINE

One of the possible approaches to the problem of replacing the fleet of combat aircraft in Ukraine at the turn of 2025, buyout is based on the forecast of financial resources of financial resources to solve the problem and realizes the choice of the optimal variant of the aircraft class on economic criteria

AIR DEFENSE SYSTEMS

Lanetskyi B. M., *Honoured Master of Science and Engineering of Ukraine, Doctor of Engineering Science, Professor,*

Koval I. V., *Ph.D. in Engineering Science,*

Seleznyov S. V., *Ph.D. in Engineering Science*

(Air Forces Scientific Center of the Kharkiv Air Force University Named After Ivan Kozhedub, Kharkiv)

METHODOLOGY OF FORECASTING OF THE STATE OF AIR DEFENCE SYSTEMS OF THE AIR FORCES OF UKRAINE FOR SOLVING TASKS OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT DEVELOPMENT PLANNING

Problems of monitoring of technical state of electrical sheet connectors of antiaircraft missiles (AAM) are considered in the paper. Monitoring is carried out for stated characteristic prolongation. Necessity of

monitoring of a transient resistance value of electrical connector plug pins is proved. Recommendations for method of electrical sheet connector up state monitoring are formed with developing of monitoring device on the base of AAM airborne guidance package imitator.

Keywords: forecasting technique, systems anti-aircraft missiles (SAM), medium and long terms.

RADIO-TECHNICAL FACILITIES

Kamaltynov H. H., *Ph.D. in Engineering Science, Senior Research Fellow, Leading Researcher,*
Kukobko S.V., *Ph.D. in Engineering Science,*
Malyarenko O. S., *Ph.D. in Engineering Science*
(Air Forces Scientific Center of the Kharkiv Air Force University Named After Ivan Kozhedub, Kharkiv),
Kisiel P. I., *Ph.D. in Engineering Science*
(Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

IDENTIFICATION OF OBJECTS ON THE BATTLEFIELD. INTERNATIONAL EXPERIENCE ANALYSIS

The modern systems and means of identification of objects on the battlefield in the lines of "ground-ground" and "aircraft-to-ground" are analysed according to the automatic broadcast of data on own troops, using for RF tags and identification equipment on the battlefield by the principle of "request-response", which has the worldwide most attention. The principles of construction and operation of systems and means of identification on the battlefield, they achieved tactical and technical characteristics are considered. The experience of the industry in Ukraine in the development of means of identification on the battlefield presented.

Klymchenko V. Y., *Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor,*
Kamaltynov H. H., *Ph.D. in Engineering Science, Senior Research Fellow, Leading Researcher*
(Air Forces Scientific Center of the Kharkiv Air Force University Named After Ivan Kozhedub, Kharkiv),
Bielavin O. V., *Chief Engineer of the Radiotechnical Troops*
(Command of the Air Force of Ukraine, Vinnytsya)
Yefimov I. L., *Leading Researcher*
(Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

PECULIARITIES OF THE CALCULATIONS OF RADIO HORIZON UTILIZATION RATIO IN VHF BAND SURVEILLANCE RADARS

The analytical method for determining the horizon utilization ratio of the VHF band surveillance radars on the basis of reflection method is considered. The conditions and factors that influence the value of radio horizon utilization ratio are determined, design ratio for its calculation is obtained taking into account the specific conditions of the combat use of radar.

The applicability of mentioned method of the radio horizon utilization ratio determination for the calculation of detection range of targets that have different values of effective reflective area on low and medium altitudes taking into consideration terrain features of the radar sit is proved.

Keywords: VHF band radars, air target detection area, radio horizon utilization ratio

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

Herasymov S. V., *Ph.D. in Engineering Science,*

Kukobko S. V., *Ph.D. in Engineering Science,*

Roshchupkin Ye. S., *Ph.D. in Engineering Science*

(Air Forces Scientific Center of the Kharkiv Air Force University Named After Ivan Kozhedub, Kharkiv),

Rasstryhin O. O., *Doctor of Engineering Science*

(Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

SYNTHESIS OF MEASURING SIGNALS FOR DETERMINATION OF THE TECHNICAL STATE OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

The criteria of synthesis of optimum measuring signals are offered and probed for control of parameters of the systems of automatic control. Grounded, that the considered criteria are taken to unique which it is suggested to utilize for finding of parameters of optimum entrance measuring signal for determination of the technical state of the of automatic control systems.

Oliiarnyk B. O., *Doctor of Engineering Science,*

Yevtushenko K. S., *Ph.D. in Engineering Science*

(State Enterprise "Lviv Radio Engineering Research Institute", Lviv)

COMPLEX OF UNIFIED TECHNICAL TECHNIQUES FOR SRAFF AND COMMAND VEHICLES AND ARTILLERY

On the basis of study of battery automated control functional tasks unitized family of technique for staff and command vehicles regardless of moving platform type is proposed.

WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT OF ENGINEER TROOPS

Shkvarskyi O., *Research Fellow*

(Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

CALCULATIONS OF THE MILITARY LOW-LEVEL BRIDGE HORIZONTAL LOAD

A study of wooden bridgework behaviour under the action of break loads was undertaken. Experimental studies of the behaviour of the bridge structural elements to the horizontal loads were carried out during the construction of military low-level bridges and their further exploitation.

In support of experimental studies structural systems of bridge were calculated, and were down to calculations of multiple bents based on structural theory methods. It was found that at the initial load action on one of the bridge spans load is perceived only by two adjacent rows of the bridge bearings. Next adjacent rows of the bridge bearings started reacting when the heave was 4 cm and more.

Keywords: *water obstacles; brake load; bending moment curve; pile*

NAVY ARMAMENT & EQUIPMENT

Derepa A., *PhD in Technical Sciences*

(Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

**THE WAYS OF REMOVAL OF VAGUENESS OF DIRECTION-FINDING OF SYSTEM
«HYDROACOUSTIC STATION - SURFACE VESSEL» WITH THE FLEXIBLE PROLONGED
TOWED AERIALS**

Researches in relation of possibility of increase of efficiency of the hydroacoustic system «hydroacoustic station - surface vessel» with flexible prolonged towed aerials by removal of the bearing vagueness are conducted in this work.

PRODUCTION, UTILIZATION, MODERNIZATION, MAINTENANCE

Zhyvotovskiy R. M., *PhD in Technical Sciences,*

Petruk S. M., *Senior Researcher*

(Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv),

Nikiforov M. M., *PhD in Military Sciences*

(Military Institute of Taras Shevchenko Kiev National University, Kyiv)

**FEATURES IMPROVEMENT AND DEVELOPMENT DIAGNOSTIC SYSTEM SUPPORT
PREDICTIVE BASED SUPPORT**

In this work the method of implementing new information technologies during operation of anti-aircraft missile was investigated. This method allows the state to justify a general assessment of the quality of the system of intellectual support for the operation and formulate basic principles of technical diagnostics weapons.

Kakhovskiy M. Yu., *researcher,*

Huliaiev A. V., *PhD in Technical Science, senior research fellow*

(Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kiev),

Yarovitsyn O. V., *PhD in Technical Science, senior research fellow,*

Cherviakov M. O., *PhD in Technical Science, senior research fellow*

(Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine)

**RELATIONSHIP OF THERMAL CHARACTERISTICS OF LOW-AMPERAGE ARC AND STRESS-
STRAIN STATE OF WELDED JOINTS FROM HEAT-PROOF NICKEL-BASED ALLOYS UNITS OF
GAS-TURBINE ENGINES OF MILITARY AND TRANSPORT AVIATION**

The possibility of improving the weldability of nickel-based superalloys from the standpoint of the relationship of thermal characteristics of welding heat source and thermal deformation processes in the welded joint was investigated.

SURVIVABILITY

Kolchigin N. N., *Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor, Chair of the Department,*

Bykov V. N., *Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor,*

Ivanchenko D. D.

(Kharkov National University named after V.N.)

Glebov V. V., *Doctor of Engineering Science, Professor, Deputy Chief Designer,*

Deviatilov Yu. I., *Leading Designer,*

Rolenko S. A., *Head of the Department*

(Kharkiv Morozov Machine Building Bureau),

Grichanjuk A. M., *PhD in Technical Sciences*

(Kharkiv Air Force University Named After Ivan Kozhedub)

EXPERIMENTAL RESEARCH OF INDIVIDUAL WIDE-BAND CAMOUFLAGE KITS

The results of experimental research of mock-up specimens of individual wide-band camouflage kits have been stated. The volume of the research, methods, and means of evaluating characteristics in various wavelength ranges have been described. The efficiency of using an individual wide-band camouflage kit on armoured vehicles has been confirmed. The directions of further work have been determined.

Keywords: *research, object, camouflage kit, method, wavelength range, background, contrast, evaluation.*

INTELLECTUAL PROPERTY

Buhera M., *advanced student*

(Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

METHOD OF MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF PATENT INFORMATION FOR THE CONSTRUCTION OF FORECASTING STATISTICAL MODEL OF DYNAMIC TYPE PROTECTIVE DEVICES DEVELOPMENT

The article presents method of patent research by applying statistical processing of patent information that differs from the known use of statistical forecasting model of development of dynamic type protective devices, constructed with the help of morphological analysis.

Keywords: *morphologic analysis method, patenting information, dynamic type protective devices, technical solutions, weapons and military equipment.*

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

Стаття подається в одному примірнику друкованого тексту на білому папері формату А4 у редакторі Microsoft Word шрифтом Times New Roman, розмір літер – 12 пт, стиль – normal (звичайний), міжрядковий інтервал – 1.2, абзац з відступом 8 мм, інтервал перед та після абзацу – 0 пт, параметри сторінки: зліва – 30 мм, справа – 15 мм, зверху та знизу – 20 мм, від краю до верхнього колонтитула – 15 мм, до нижнього – 25 мм; сторінки без нумерації.

Наукова праця має бути підписана авторами на звороті останнього аркуша та якісно відредагована.

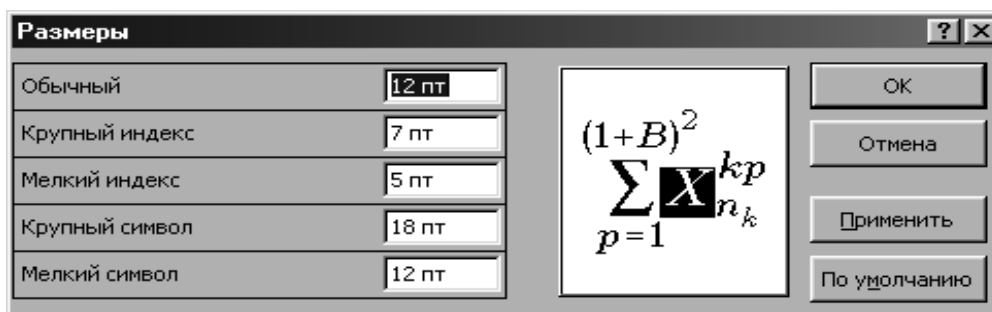
До статті додаються: **акт експертизи** про можливість відкритого опублікування; **витяг з протоколу** засідання науково-технічної ради установи (підрозділу) з обґрунтуванням доцільності опублікування роботи; **рецензія** за підписом провідного вченого у даному напрямі наукових досліджень – доктора наук; **дані про авторів** із зазначенням прізвища (великими літерами), імені та по батькові (повністю), наукового ступеня, вченого звання, посади або професії, наукових інтересів (обов'язково), домашньої адреси, контактного телефону, факсу, e-mail.

Разом зі статтею подається її електронний варіант (по e-mail, на CD або дискеті 3,5") з файлами, які містять текст статті українською мовою, анотацію українською, російською, англійською мовами, а також дані про авторів.

ПОРЯДОК ОФОРМЛЕННЯ РУКОПISУ

1. Індекс УДК зазначається у лівому верхньому куті перед відомостями про авторів.
2. Ініціали та прізвища авторів – у правому куті (без наукового ступеня та вченого звання, шрифт напівжирний, без нахилу і підкреслювань).
3. Назва статті друкується великими літерами (шрифт напівжирний, без нахилу і підкреслювань) по центрі аркуша без переносів і відокремлюється від тексту одним вільним рядком зверху та знизу.
4. Анотація українською мовою друкується курсивом під назвою статті й відокремлюється від заголовка та тексту одним вільним рядком, анотації російською й англійською мовами друкуються після списку літератури.
5. Формули у статтях повинні бути надруковані за допомогою редактора формул *Equation Editor*. Усі параметри в статтях мають повністю відповідати наведеним нижче формам:

Стиль	Шрифт	Формат символов	
		Полужирный	Наклонный
Текст	Times New Roman	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Функция	Times New Roman	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Переменная . .	Times New Roman	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Стр. греческие .	Symbol	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Пр. греческие . .	Symbol	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Символ	Symbol	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Матрица-вектор	Times New Roman	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Числа	Times New Roman	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Язык:			
Стиль "Текст"	Любой		
Другие стили	Любой		



Усі формули розміщують у таблиці без обрамлення, по центрі, без абзацу. Номер формули зазначається посередині висоти другої колонки з виключкою вправо.

Усі буквені позначення у формулах та рисунках, а також у тексті статті повинні бути однакові за розміром і гарнітурою. Допускаються виділення напівжирним шрифтом, курсивом та підкреслювання за бажанням автора.

6. Рисунки до статті потрібно виконувати у редакторі Microsoft Word за допомогою функції «Створити малюнок». Не допускаються рисунки, оформлені як растрові зображення або такі, що не піддаються редагуванню. Усі текстові написи на рисунках слід робити тільки в кадрах або текстових рамках. Розміри рисунка не повинні виходити за рамки полів.

7. Стандартні таблиці слід виконувати в редакторі Microsoft Word. Вони повинні мати короткий заголовок.

8. Список літератури подається загальним списком у кінці рукопису та складається відповідно до посилань на літературні джерела в тексті. Бібліографічний опис оформлюється згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання».

Необхідно дотримуватися вимог ВАК України щодо оформлення статей, п. 3 постанови від 15.01.03 № 7-05/1. Структура наукової статті повинна мати такі елементи: **постановка проблеми; огляд останніх досліджень і публікацій** з цієї проблеми; **формулювання завдання дослідження; виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; **висновки; список використаних джерел**.

Редакція не несе відповідальності за зміст наукової праці та залишає за собою право відмови від опублікування статей, що не відповідають проблематиці журналу й умовам оформлення матеріалів.

Статті приймаються **за адресою:** 03049, м. Київ, пр-т Повітрофлотський, 28, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України.

Телефон для довідок: (044) 271-08-78 (дод. 2-13-78).

E-mail: cndi_ovt@mil.gov.ua.

Формат 60 x 84 1 / 8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Друк офсетний.
Обсяг 13,51 ум. др. арк., 9,11 обл.-вид. арк. Наклад 250 прим. Зам. № 1578.

Видавничий дім Дмитра Бураго

Свідоцтво про внесення до державного реєстру ДК № 2212 від 13.06.2005 р.
04080, Україна, м. Київ-80, а / с 41

Тел. / факс: (044) 227-38-28, 227-38-48; **e-mail:** info@burago.com.ua, **site:** www.burago.com.ua