

ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА

3(23)
2019

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

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

ЩОКВАРТАЛЬНИК

ВИДАЄТЬСЯ З СІЧНЯ 2014 РОКУ

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

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

Редакційна колегія:

Бісик С.П., к.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Бліщев В.С., д.т.н. (НУК)
Борковски Янек, д.т.н. (ВІТО)
Гринченко В.Т., акад., д.ф.-м.н. (ІГ НАНУ)
Гурнович А.В., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Дідковський В.С., д.т.н. (НТУУ КПІ)
Довгополій А.С., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Животовський Р.М., к.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Зубарева В.В., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Коростельов О.П., д.т.н. (ДержККБ «Луч») (Львів)
Курпінченко О.М., д.т.н. (НАСВ)
Кучер Д.Б., д.т.н. (ІВМС НУОМА)
Кучеров Д.П., д.т.н. (НАУ)
Кучинський А.В., к.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Ланецький Б.М., д.т.н. (ХНУПС)
Ланецький С.В., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Лейко О.Г., д.т.н. (НТУУ КПІ)
Луханін М.І., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Мітрахович М.М., д.т.н. (ДП «Івченко-Прогрес»)
Олійник Б.О., д.т.н. (ДП «ЛОРТА»)
Растригін О.О., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Сідоренко Ю.М., д.т.н. (НТУУ КПІ)
Слюсар В.І., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Чабаненко П.П., д.в.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)
Чепков І.Б., д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)

Редакційна рада:

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

Розглянуто та схвалено до друку
науково-технічною радою
ЦНДІ ОВТ ЗС України
(протокол №12 від 18.09.2019)

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: cnidi_ovt@mil.gov.ua
Сайт: <https://journal.cnidiov.com.ua>

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

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



У НОМЕРІ

ВОЄННО-ТЕХНІЧНА ПОЛІТИКА

- Чепков І. Б., Сотник В. В., Борохвостов І. В., Бондарчук М. В., Білокур М. О.*
Порівняльний аналіз систем оборонного планування в США та в Україні 3
- Чепков І. Б., Довгополій А. С., Гусяков О. М.* Концептуальні засади створення вітчизняних ударно-розвідувальних наземних роботизованих комплексів важкого класу 16
- Демідов Б. О., Луханін М. І., Величко О. Ф., Гриб Д. А., Хмелевська О. О.*
Проблематика теорії і практики управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення в умовах обстановки, що динамічно змінюється в районі бойових дій 26

БРОНЕТАНКОВА ТЕХНІКА

- Мочерад В. С., Дубно М. В., Колесник В. В., Задорожний В. П.* Визначення пріоритетності цілі для її ураження за критерієм максимуму видимої поверхні 40

АВТОМОБІЛЬНА ТЕХНІКА

- Грубель М. Г., Крайник Л. В., Боднар М. Ф.* Оцінка тягово-швидкісних характеристик військової автомобільної техніки за умов руху бездоріжжям методами імітаційного моделювання 46
- Шушанов М. О., Веретнов А. О.* Методичні основи дослідження ремонтпридатності військової автомобільної техніки 53

РАДІОТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ

- Федоров П. М., Богучарський В. В.* Інтерференційне ослаблення радіолокаційних сигналів від маловисотних цілей 58
- Зібін С. Д., Попов А. О., Твердохлібов В. В.* Забезпечення завадозахищеності приймачів сигналів GNSS шляхом використання алгоритмів просторової фільтрації 62

ОЗБРОЄННЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

- Николаев І. М.* Методика априорного описання летальних апаратів на основі сигнальних признаков, зв'язаних со структурою и параметрами излучения бортовых радиолокационных станцій 68
- Зірка А. Л., Сілков В. І., Жевтюк О. А.* Методика розрахунку діапазону кутів та швидкостей зустрічі ракети з перешкодою для спрацювання підривного пристрою 78

МЕТОДИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

- Сіренко В. Є., Демченко Є. Я.* Деякі особливості хронологічних обчислень 84
- Головін О. О., Зірка М. В., Кадет Н. П., Фреган Н. М., Коцюруба В. І.* Методика нечіткого оцінювання для систем підтримки прийняття проектних рішень на етапах створення зразків озброєння та військової техніки 99

ТЕХНІКА ТА ОЗБРОЄННЯ ВІЙСЬКОВО-МОРСЬКИХ СИЛ

- Дерепа А. В., Лейко О. Г., Дрозденко О. І., Святненко А. О.* Механічна міцність гідроакустичних циліндричних випромінювачів з внутрішніми екранами 110
- Косяковський А. В., Давидов В. С., Овчиннікова А. І.* Математична модель забезпечення безпеки плавання буксирних складів, що штовхаються, на річках і в прибережній морській зоні 117

ІНФОРМАЦІЯ

- Слюсар В. І.* Нова система досліджень і розробок сухопутних військ США 123

- Резюме 129

WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

3(23)
2019

SCIENTIFIC JOURNAL

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

QUARTERLY

PUBLISHED SINCE JANUARY 2014

TABLE OF CONTENTS

MILITARY TECHNICAL POLICY

- Chepkov I. B., Sotnyk V. V., Borokhvostov I. V., Bondarchuk M. V., Bilokur M. O.* Comparative analysis of defense planning systems of the USA and Ukraine 3
- Chepkov I. B., Dovhopolyi A. S., Husliakov O. M.* Conceptual basis of creation of domestic heavy-class strike-reconnaissance ground-based robotic complexes 16
- Demidov B. A., Lukhanin M. I., Velychko O. F., Grib D. A., Khmelevcka O. A.* Problems of theory and practice of management of the difficult multistructural systems of military-oriented a structural dynamics in the conditions of situation, that dynamically change in the district of battle actions 26

ARMORED VEHICLES

- Mocherad V. S., Dubno M. V., Kolesnyk V. V., Zadorozhnyi V. P.* Determining the purpose of the objective for its impact by the visible surface maximum 40

TACTICAL WHEELED VEHICLES

- Hrubel M. H., Krajnyk L. V., Bodnar M. F.* Estimating of military vehicles traction-speed characteristics in off-road conditions using imitation modeling methods 46
- Shishanov M. A., Veretnov A. O.* Methodological bases of doslidzhennya remontopridatnosti viyskovoï automobilnoï techniques 53

RADIO-TECHNICAL FACILITIES

- Fedorov P. M., Bohucharskyi V. V.* Interferential weakening of radar sygnals from low-altitude targets 58
- Zibin S. D., Popov A. O., Tverdochlibov V. V.* Providing interference immunity of global navigation satellite system signal receivers by employing space filtering algorithms 62

AIRCRAFT ARMAMENT & FACILITIES

- Nikolaev I. M.* Method of aprior's description of aircraft on the basis of signals, related to the structure and parameters of radiation of on-board radiolocation stations 68
- Zirka A. L., Silkov V. I., Zhevtiuk O. A.* Method of calculating of the range of angles and speeds of a missile's meeting with an obstacle to trigger blasting device 78

RESEARCH METHODS

- Sirenko V. Ye., Demchenko Ye. Ya.* Some features of chronological calculations 84
- Holovin O. O., Zirka M. V., Kadet N. P., Fregan N. M., Kotsiuruba V. I.* Fuzzy assessment methodology for support systems for project decision at the stages of the creation of samples of armament and military equipment 99

NAVY ARMAMENT & EQUIPMENT

- Derepa A. V., Leiko O. H., Drozdenko O. I., Svyatnenko A. O.* Mechanical strength of hydroacoustic cylindrical radiators with internal screen 110
- Kosiakovskiy A. V., Davydov V. S., Ovchinnikova A. I.* Mathematical model of creating safety condition of navigation of pushed tug convoys on rivers and in the costal marine zone 117

INPUTS

- Slyusar V. I.* A new system of research and development of the US Army 123

- Resume 129

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

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

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

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

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

Reviewed and approved for publication by Science and Engineering Board (record No.12 of 18.09.2019)

Original dummy copy was made by Dmitry Burago Publishing House

Editorial address:

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

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

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



УДК 327:355.02(477)

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3\(23\).3-15](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3(23).3-15)

І. Б. ЧЕПКОВ, доктор технічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>

В. В. СОТНИК, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0003-1094-6257>

І. В. БОРОХВОСТОВ, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0002-5410-7140>

М. В. БОНДАРЧУК

<https://orcid.org/0000-0002-4032-817X>

М. О. БІЛОКУР

<https://orcid.org/0000-0002-2954-8497>

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

Порівняльний аналіз систем оборонного планування в США та в Україні

Досліджується еволюція змін у системі оборонного планування в США шляхом аналізу функціональних зв'язків між її елементами. Розглядається триступеневий процес, який поєднує у собі Систему інтеграції та розвитку спільних спроможностей; Систему планування, програмування, бюджетування та виконання; Систему оборонного замовлення. Проведено порівняльний аналіз відповідності елементів системи оборонного планування США та України. Метою статті є порівняльний аналіз ретроспективи реформування та розгляд існуючої системи оборонного планування в США та в Україні, змін, що відбувалися в останні роки та причинно-наслідкових зв'язків, які супроводжували цей процес. Дослідження за даною темою виконувались за допомогою таких методів та процедур системного аналізу, як абстрагування і конкретизація, декомпозиція, кластеризація і класифікація. Результати аналізу вказують на необхідність реорганізації системи оборонного планування в Україні шляхом впровадження більшості елементів, процедур та принципів системи оборонного планування США з урахуванням особливостей оборонно-промислового комплексу України.

Ключові слова: оборонне планування, озброєння та військова техніка, оборонне замовлення, бюджетування, програма озброєння

Исследуется эволюция изменений в системе оборонного планирования США путем анализа функциональных связей между ее элементами. Рассматривается трехступенчатый процесс, который объединяет в себе Систему интеграции и развития общих способностей; Систему планирования, программирования, бюджетирования и выполнения; Систему оборонного заказа. Проведен сравнительный анализ соответствия элементов системы оборонного планирования США и Украины. Целью статьи является сравнительный анализ ретроспективы реформирования и рассмотрение существующей системы оборонного планирования США и Украины, изменений, которые произошли в последние годы и причинно-следственных связей, которые сопровождали этот процесс. Исследования по данной теме выполнялись с помощью таких методов и процедур системного анализа, как абстрагирование и конкретизация, декомпозиция, кластеризация и классификация. Результаты анализа указывают на необходимость реорганизации системы оборонного планирования в Украине путем внедрения большей части элементов, процедур и принципов системы оборонного планирования США с учетом особенностей оборонно-промышленного комплекса Украины.

Ключевые слова: оборонное планирование, вооружение и военная техника, оборонный заказ, бюджетирование, программа вооружения

ВСТУП

Система оборонного планування в Україні, з набуттям незалежності у 1991 році, пройшла довгий шлях реформування та реорганізації від радянського зразка, що базувався на замкнених циклах розроблення та виробництва озброєння та військової техніки, до системи, характерними рисами якої є відсутність можливості повного задоволення потреб військових формувань в озброєнні за рахунок вітчизняних підприємств оборонної промисловості. Складність цього шляху посилювалася вкрай обмеженим (найчастіше – критичним рівнем) фінансування науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт зі створення нових (модернізованих) зразків (комплексів, систем) озброєння та військової техніки та їх закупівлі. Це спричинило поступовий розпад або диверсифікацію багатьох підприємств оборонно-промислового комплексу України.

Найбільш доцільним шляхом проведення реформування та реорганізації системи оборонного планування, оборонного замовлення та, відповідно, оборонно-промислового комплексу України є вивчення та впровадження передового зарубіжного досвіду в організації та методології наукового супроводження цього процесу.

В останні роки, в багатьох фахових наукових виданнях з оборонної тематики публікуються результати аналізу закордонних систем оборонного планування (замовлення). Найбільш передовим, безсумнівно, є досвід США в цій сфері. Наприклад, в роботах [1, 2] проведений аналіз системи оборонного замовлення США, яка існувала станом на 2010 та 2014 роки відповідно. В роботі [3] проведений аналіз нових підходів у плануванні розвитку озброєння та військової техніки США станом на 2015 рік. Але, після цього в системі оборонного планування, програмування та закупівлі США пройшли певні організаційні та методологічні зміни. Крім того, викликає зацікавленість дослідити повну ретроспективу реорганізації цієї системи та виявити проблемні питання, що виникали та призводили до необхідності внесення відповідних змін до складу та функціонування її елементів. Це дозволить в подальшому виявити елементи та методологічні підходи, які можуть бути впроваджені в системі оборонного планування в Україні.

Тому, метою даної статті є аналіз ретроспективи реформування та розгляд існуючої системи оборонного планування в США, змін, що відбувалися в останні роки та причинно-наслідкових зв'язків, які супроводжували цей процес.

Основа методології планування розвитку озброєння та військової техніки (ОВТ) у США складає Система планування, програмування, розроблення бюджету (The Planning, Programming and Budgeting – PPB). Вона являє собою циклічний дворічний процес розроблення планів, програм та бюджетів, який був введений в міністерстві оборони (МО) США у середині минулого століття [4-6]. Він складався із трьох окремих, взаємозалежних, але послідовних етапів – планування, програмування та розроблення бюджету.

В ході еволюції системи вона була доповнена такими новими механізмами, як ухвалення рішень на перспективу, перегляд попередніх рішень із урахуванням нових реалій, наприклад, нових загроз, змін в економіці тощо. З 2001 р. етапи програмування та розроблення бюджету в МО США почали проводитися одночасно.

З травня 2003 р. було запроваджено етап «Виконання», який проводиться одночасно з розглядом програм і бюджету. Внаслідок цього фактично була створена нова Система планування, програмування, бюджетування та виконання (The Planning, Programming, Budgeting, and Execution System – PPBE), яка зберегла, тим не менш, більшість процедур PPB.

Частіше в нормативних документах про програму йдеться вже тоді, коли ніякої фактичної програми закупівлі або створення виробу ще не розроблено. Це пов'язано з тим, що в МО США практикується “проектний” підхід до управління життєвим циклом (ЖЦ) ОВТ. Відповідно до нього, кожна програма закупівлі ще до її безпосередньої розробки та затвердження, вже розглядається як окремий проект (програма).

Під програмою закупівлі (придбання) розуміються завдання та заходи, які спрямовані на придбання ОВТ. Термін «придбання» в цьому випадку означає не просто купівлю товару, а комплекс заходів, які спрямовані на появу у збройних силах (ЗС) необхідних ОВТ. Тобто процедура придбання може включати його розробку, конструювання, проведення випробувань, впровадження, забезпечення постачання тощо [3].

Придбання та створення нових ОВТ в США відбувається за рахунок Системи оборонного замовлення (The Defense Acquisition System – DAS), яка постійно удосконалюється [2, 3].

Взагалі, у відповідності з діючими в США нормативно-правовими документами МО [7-16], від ідеї до поставки об'єкт замовлення проходить через триступеневий процес:

1. **Визначення вимог** в Системі інтеграції та розвитку спільних спроможностей (The Joint Capabilities Integration and Development System – JCIDS).

2. **Виділення ресурсів та асигнувань** в Системі планування, програмування, бюджетування та виконання (PPBE).

3. **Розробка, випробування та закупівля** в Системі оборонного замовлення (DAS).

Процеси JCIDS, PPBE та DAS є тісно пов'язаними та здійснюються одночасно з урахуванням повної кооперації та координації зусиль. Затвердженні JCIDS забезпечують основу для визначення продукції, що буде закуповуватись, а PPBE визначає пріоритети МО, здійснює розподіл ресурсів та спрямовує кошти, необхідні для виконання запланованих програм. Протягом всього ЖЦ продукції може виникнути необхідність у деяких коригуваннях з метою синхронізації цих трьох процесів.

Розглянемо більш докладно зміст зазначених процесів, які визначають методологію планування розвитку ОВТ у МО США.

Система інтеграції та розвитку спільних спроможностей

JCIDS – процес визначення вимог, за допомогою якого МО США ідентифікує, оцінює та встановлює пріоритети характеристик, якими повинні володіти ОВТ та ЗС, щоб ефективно виконувати свої завдання. Сформульовані можливості ОВТ та ЗС можуть бути досягнуті зміною доктрини, навчанням особового складу, реорганізацією структури підрозділів або придбанням (створенням) нових зразків (комплексів, систем) ОВТ.

До 2003 р., при визначенні вимог до ОВТ, МО США використовувало так званий підхід на основі «протидії загрозам». Однак він, на думку керівництва МО США, призводив до того, що кожен вид і рід військ виділяв специфічні для нього загрози, що призводило до створення своїх незалежних систем озброєння (СО). Тому, в 2003 році була впроваджена JCIDS та визначення вимог до ОВТ почало відбуватися з використанням підходу «на основі можливостей»: замість розробки, виробництва та розгортання систем, що призначені для компенсації конкретних ймовірних загроз, МО США перейшло до політики визначення властивостей ОВТ, що необхідні для вирішення завдань, які викладені у стратегічних керівних документах. Основні завдання, що стоять перед таким процесом визначення вимог, включають виявлення необхідних ЗС можливостей і, разом з тим, формулювання вимог до ОВТ, які забезпечують досягнення виявлених можливостей.

На даний час процес JCIDS регламентується Інструкцією «Система інтеграції та розвитку спільних спроможностей» [15]. Його первинною метою є виявлення спроможностей у забезпеченні військових потреб для успішного виконання поставлених завдань. Процес складається з чотирьох заходів (рис. 1):

1. Оцінка наявних спроможностей (Capabilities Base Assessment – CBA), яка здійснюється для визначення відсутніх спроможностей шляхом визначення бойового завдання та функціональних характеристик, що мають забезпечуватись цими спроможностями, їх властивостей, пов'язаних з ними операційних ризиків, оцінки життєздатності нематеріальних рішень, надання рекомендацій щодо можливого рішення. В результаті цього розробляється Початковий огляд спроможностей (Initial Capabilities Document – ICD).

2. Радою спільних вимог (Joint Requirements Oversight Council – JROC) затверджуються ICD, яким визначаються: спроможності, що необхідні для виконання поставлених завдань; пріоритети; відсутні спроможності та пов'язані з ними операційні ризики; потреба у забезпеченні відсутніх спроможностей.

3. JROC затверджуються Вимоги до розроблення спроможностей (Capability Development Document – CDD), якими визначаються Основні функціональні параметри (Key Performance Parameters – KPP), їх порогові рівні та цільові значення; оцінюються вартісні ризики при забезпеченні цих параметрів; визначаються часові періоди та ступінь розвитку технологій; оцінюється вартість системи у порівнянні з функціональною спроможністю, що забезпечується цією системою.

У CDD вперше з початку програми з'являються основні тактико-технічні характеристики (ТТХ) та основні властивості майбутнього зразка ОБТ. Також у них міститься розрахунок вартості ЖЦ зразка ОБТ або, якщо можливо, загальна вартість його утримання. CDD – найбільш близький за змістом документ до вітчизняного тактико-технічного завдання (ТТЗ) на дослідно-конструкторську роботу (ДКР). На його основі розробляється програма випробувань дослідного зразка та укладається контракт. У той же час, навіть після затвердження, в ході розробки зразка ОБТ, цей документ може бути частково переглянутим.

4. JROC затверджуються Вимоги до виробництва спроможностей (Capability Production Document – CPD). Їх метою є контроль відповідності ОБТ, що постачається у війська, вимогам, які визначені ICD, в тому числі щодо вартісних показників. У CPD зосереджена інформація, що використовується при виробництві та експлуатації ОБТ, а також для перевірки його працездатності.

На рис. 1 однаковим кольором показані схожі за сутністю та змістом елементи даних систем в США та Україні. Метою даного етапу є визначення вимог до необхідних спроможностей в США та вимог до системи озброєння збройних сил в Україні.

Отже, JCIDS допомагає виявити проблемні питання в можливостях та на основі їх аналізу сформулювати пропозиції до вирішення їх організаційним шляхом або шляхом придбання (розробки) ОБТ. Результати JCIDS формують граничні умови для етапу аналізу альтернатив, що проводиться у подальшому в Системі оборонного замовлення. Якщо результатом є рекомендація щодо створення зразка (комплексу, системи) ОБТ, то розробляються і затверджуються вимоги за призначенням.

Система планування, програмування, бюджетування та виконання

Процес РРВЕ – це щорічний процес створення у МО і надання до Конгресу США оборонної частини Бюджету Президента згідно Директиви МО США «Процес планування, програмування, бюджетування та виконання» [16]. Він визначає пріоритети і цілі програм закупівель МО США та спрямований на управління фінансами (розподіл ресурсів) поточних та майбутніх програм.

Процес РРВЕ складається з чотирьох етапів (рис. 2):

1. Планування – визначення та розгляд альтернативних стратегій, аналіз тенденцій та умов, що змінюються, оцінка можливих загроз, наявних технологій та економічних оцінок в поєднанні з прогнозуванням довгострокових наслідків та ймовірних змін. На цьому етапі розглядаються та визначаються потреби МО на наступні 5, 10, 20 та більше років.

Стратегічними документами, що використовуються та розробляються на етапі планування, є:

Стратегія національної безпеки (National Security Strategy – NSS) [17];

Національна воєнна стратегія (National Military Strategy – NMS) [18];

Національна стратегія оборони (National Defense Strategy – NDS) [19];

Керівництво з питань стратегічного планування (Strategic Planning Guidance – SPG) [20];

Керівництво з питань оборонного планування (Defense Planning Guidance – DPG) [21];

Чотирьохрічний огляд оборонної політики (Quadrennial Defense Review – QDR) [22].

Для загального управління на етапі планування використовується DPG, за яким розробляються обмежені

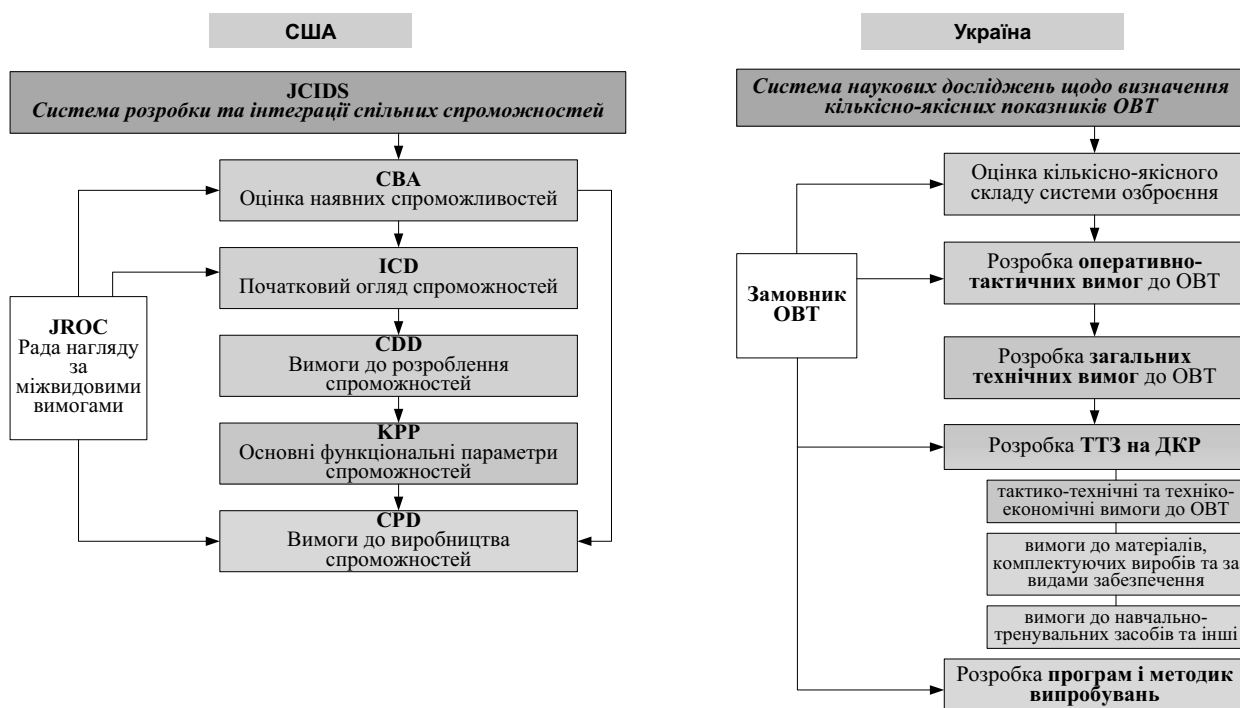


Рис. 1. Відповідність елементів Системи інтеграції та розвитку спільних спроможностей США та Системи наукових досліджень щодо визначення кількісно-якісних показників ОБТ в Україні

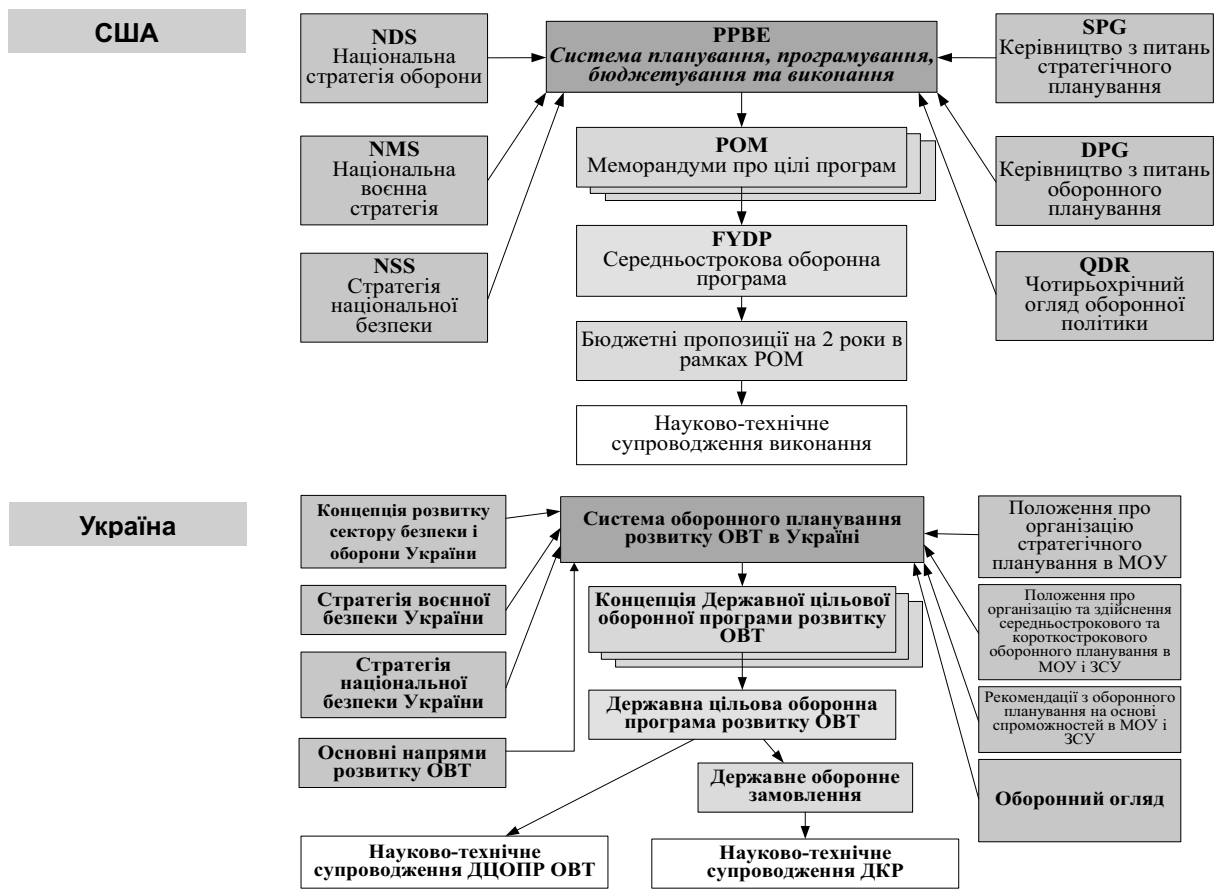


Рис. 2. Відповідність елементів Системи планування, програмування, бюджетування та виконання в США та Система оборонного планування розвитку ОВТ в Україні

фінансовими ресурсами напрями та пріоритети. DPG зв'язує етапи планування та програмування шляхом надання вказівок щодо розроблення програмних пропозицій до Меморандумів про цілі програм (Program Objective Memorandum – POM).

2. Програмування – визначення та аналіз варіантів силових структур, СО та систем підтримки з подальшою оцінкою різних компромісних варіантів та багаторічним розподілом наявних ресурсів.

Етап програмування розпочинається з розроблення POM та Бюджетних пропозицій кожним структурним підрозділом МО. Під час виконання цього етапу набір програм балансується таким чином, щоб відповідати напрямам та пріоритетам, визначеним Керівництвом з системи оборонного замовлення [14] з урахуванням фінансових обмежень.

POM усіх структурних підрозділів МО узагальнюються та складається Середньострокова оборонна програма (Future Year Defense Program – FYDP), яка після затвердження міністром оборони є фінансовим планом МО. FYDP охоплює 5-річний період (бюджетний рік та 4-и наступних роки) та щорічно оновлюється під час складання POM. FYDP об'єднує відомості всіх структурних підрозділів МО за програмними елементами, які включають сукупність функціональних або організаційних заходів та пов'язаними з ними фінансовими ресурсами залежно від цілей [1]. При цьому виключається

їх дублювання, а їх кількість постійно переглядається. Як правило, вибирається більше 3600 активних програмних елементів, яким привласнюється семизначний номер з алфавітним суфіксом, що вказує на програму, організацію або управління. Це значно полегшує розроблення FYDP та проведення оцінювання потрібних асигнувань.

3. Бюджетування – процес формування та обґрунтування бюджетних показників перших двох років FYDP для гарантування ефективного використання ресурсів.

Етап бюджетування проводиться одночасно з програмуванням: кожний структурний підрозділ з метою узгодження даних, калькулювання цін та оцінки ризиків видає Бюджетні пропозиції одночасно з POM. Бюджетні пропозиції охоплюють лише 2-річний період, проте містять набагато більше фінансових показників, ніж POM. На основі скоригованих Бюджетних пропозицій складається оборонна частина щорічного Бюджету Президента.

4. Виконання – безпосереднє виконання процесу PPBE.

Контроль за виконанням здійснюється одночасно з контролем за програмою та бюджетом. Він є аналогом системи науково-технічного супроводження середньострокової програми озброєння та ДОЗ в Україні. Контроль за виконанням дозволяє отримати зворотній зв'язок вищому керівництву стосовно ефективності

попереднього та поточного розподілу ресурсів. Під час виконання програми оцінюється відповідність встановлених показників її ефективності, в тому числі за темпами фінансування прямих зобов'язань та інших витрат. В разі, якщо цілі програми не виконуються, надаються рекомендації щодо використання ресурсів та/або зміни структури програми з метою досягнення бажаних цілей програми.

В Україні системі РРВЕ умовно відповідає Система оборонного планування розвитку ОВТ (рис. 2). З прийняттям Закону України «Про національну безпеку» вона, за сутністю стратегічно-концептуальних документів та структурною побудовою програмних документів середньострокового і короткострокового планування, практично повністю почала відповідати Системі планування, програмування, бюджетування та виконання в США. Відмінністю є лише різниця в термінах бюджетних пропозицій міністерства оборони США, які надаються на два роки, та Державного оборонного замовлення в Україні, яке повинно складатися на термін до трьох років.

Система оборонного замовлення

DAS являє собою управлінський процес, за допомогою якого МО США купує та розробляє ОВТ. Процеси, що описані в документах DAS, в деякій мірі схожі з процесами існуючої в Україні системи розробки та поставлення на виробництво (СППВ).

Для управління кожною програмою закупівлі створюється офіс управління програмою закупівлі, який очолює Керівник програми та до складу якого входять інженери, логісти, фахівці з питань контрактів, бюджету, фінансового менеджменту, випробувань та оцінки. Керівник програми підзвітний Директору програми (РЕО).

Директор програми може мати декілька підзвітних Керівників програм та в свою чергу є підзвітним Адміністратору закупівель відповідного структурного підрозділу МО (САЕ). Адміністратори закупівель структурних підрозділів МО є підзвітними заступнику міністра оборони з питань закупівель, технологій та логістики, який виступає Адміністратором оборонних закупівель.

Посадовою особою, яка приймає рішення щодо відповідності програми необхідним критеріям для переходу до наступного етапу процесу закупівлі, є Відповідальний за прийняття рішень за контрольними рубежами (MDA). В залежності від програми Відповідальним за прийняття рішень за контрольними рубежами може виступати заступник міністра оборони з питань закупівель, технологій та логістики, керівник відповідного структурного підрозділу МО або Адміністратор закупівель відповідного структурного підрозділу МО.

Для контролю за програмами закупівлі в системі оборонних закупівель використовуються «контрольні рубежі» (Milestone), яких необхідно досягти для переходу до наступного етапу процесу закупівлі. Для проходження контрольного рубежу програма повинна відповідати певним вимогам.

Розрізняють три контрольні рубежі (рис. 3):

A – розпочинає етап розвитку технологій та зменшення ризиків;

B – розпочинає етап розроблення та підготовки виробництва;

C – розпочинає етап виробництва та постачання продукції до військ.

Після прийняття рішення про необхідність розробки зразка ОВТ програма може бути розпочата з будь-якого з трьох кордонів, якщо вона задовольняє відповідним критеріям для цього кордону.

Інструкція МО США «Функціонування системи оборонних закупівель» [13] встановлює порядок управління всіма програмами закупівель. Вони поділяються на три категорії в залежності від загального обсягу фінансування та важливості. Категорія визначає рівень уваги до програми закупівель [13]:

I категорія (ACAT I) – якщо обсяг фінансування на НДДКР більше 480 млн дол., або в цілому на закупівлю – більше 2,79 млрд дол. (в цінах 2014 р.);

II категорія (ACAT II) – якщо на НДДКР – більше 185 млн дол., або в цілому на закупівлю – більше 835 млн дол.;

III категорія (ACAT III) – менш, ніж визначено для II категорії.

Етапами процесу закупівлі є такі:

1. Етап Аналізу матеріальних рішень (Material Solutions Analysis – MSA).

Рішення про розробку, що приймається МО – це рішення, що є потреба в новій продукції та необхідно розпочинати діяльність щодо аналізу альтернатив. Рішення про розробку приймається на основі затвердженого Початкового огляду спроможностей. Під час виконання Етапу аналізу матеріальних рішень розробляється та затверджується Стратегія закупівлі.

За умови виконання всіх існуючих вимог за підсумками Етапу аналізу матеріальних рішень приймається Рішення за контрольним рубезем A (Milestone A), що є підставою для початку наступного етапу.

2. Етап Розвитку технологій та зменшення ризиків (Technology Maturation and Risk Reduction – TMRR).

Виконання цього етапу спрямоване на зменшення ризиків, а також визначення переліку технологій, які необхідно включити при розробленні продукції для задоволення потреби згідно з Початковим оглядом спроможностей (ICD).

На цьому етапі декілька установ на умовах конкуренції паралельно здійснюють заходи щодо розвитку технологій, зменшення ризиків та попередні заходи щодо конструювання (дизайну), включаючи складання Попереднього технічного вигляду (Preliminary Design Review – PDR) майбутнього виробу, ще до вибору виконавця.

При оцінці технологічних ризиків враховуються рівні готовності технологій відповідно до Керівництва з питань оцінки готовності технологій [23]. Причому Стратегією закупівлі може бути передбачено проведення багаторазових демонстрацій технологій з метою переконання потенційного користувача та розробника в тому, що обране рішення є обґрунтованим, відповідає

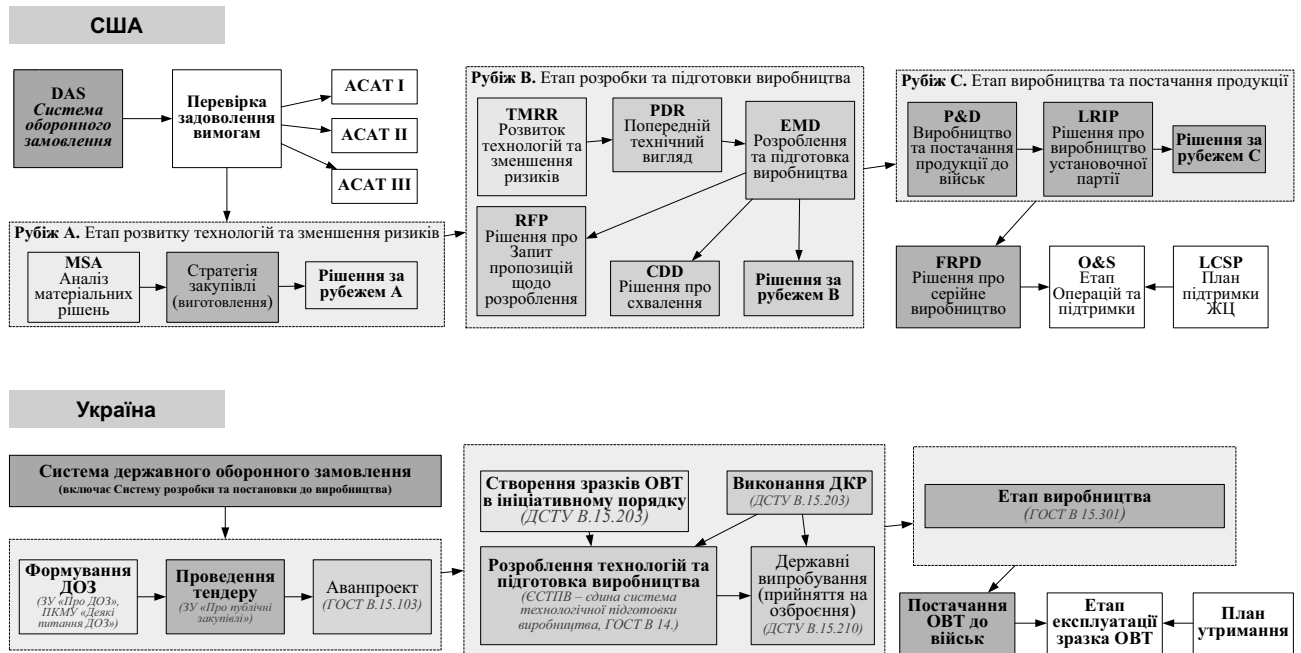


Рис. 3. Відповідність елементів Системи оборонного замовлення США Системі Державного оборонного замовлення України

затвердженим вимогам до спроможностей та рівень технічного ризику є прийнятним.

3. Етап Розроблення та підготовки виробництва (Engineering and Manufacturing Development – EMD).

Цей етап є офіційним початком програми закупівлі та спрямований на розроблення, виготовлення та випробування ОБТ для підтвердження їх відповідності операційним вимогам.

Виконання цього етапу супроводжується прийняттям таких взаємопов'язаних рішень:

- рішення про схвалення CDD;
- рішення про Запит пропозицій щодо розроблення (Request for Proposals – RFP) (та, можливо, початкового виробництва) від підприємств промисловості;
- рішення про укладання контракту на розробку (Decision to award the contract) – Рішення за контрольним рубежем В (Milestone B).

4. Етап Виробництва та постачання продукції до військ (Production and Development – P&D).

Метою цього етапу є виробництво та постачання військовим формуванням ОБТ, що відповідає встановленим вимогам.

Рішення про поставлення на виробництво (Decision to enter production) приймається після закінчення розроблення та випробувань в два етапи:

1) рішення про виробництво установочної партії (Low-Rate Initial Production – LRIP), що називається Рішенням за контрольним рубежем С (Milestone C), або Рішення про обмежене постачання (Limited Deployment Decision);

2) рішення про серійне виробництво (Full Rate Production Decision – FRPD) або Рішення про постачання до військ (Full Deployment Decision);

рішення про початкове виробництво (Initial Production Decision) базується, в першу чергу, на результатах дослідних випробувань з урахуванням операційної оцінки;

FRPD слідує після закінчення оперативних випробувань зразків ОБТ початкового виробництва. Воно приймається для збільшення масштабу виробництва та/або постачання до військ.

5. Етап Операцій та підтримки (Operations and Support – O&S).

Метою цього етапу є виконання стратегії підтримки продукції та вимог до операційної підтримки, а також забезпечення готовності та підтримання зразків протягом всього ЖЦ (включаючи утилізацію). Етап розпочинається після прийняття FRPD та базується на Плані підтримки ЖЦ (Life Cycle Sustainment Plan – LCSP).

Наведені етапи та рішення є стандартними, проте передбачені механізми пристосування та структурування програми найбільш ефективним чином, в тому числі шляхом виключення та/або об'єднання певних етапів та рішень.

В Україні за процес розробки та закупівлі озброєння відповідає Система Державного оборонного замовлення (рис. 3). Його основою є Система розробки та постановки на виробництво, яка визначає порядок виконання дослідно-конструкторських робіт та на даний час розробляється в Україні на основі стандартів серії В 15. Крім того, процес Державного оборонного замовлення регламентується відповідними Законами та постановами Кабінету Міністрів України.

Етап Розроблення технологій та підготовки виробництва в Україні за своєю сутністю відповідає етапу Розвиток технологій та зменшення ризиків в США. В його основі покладена Єдина система технологічної

підготовки виробництва, що регламентується ГОСТами серії 14.

Процес закупівель МО США є достатньо складним та не завжди забезпечує закупівлю матеріальних засобів з очікуваними характеристиками та за запланованими цінами. Конгрес США тривалий час намагається підвищити ефективність структури та функціонування системи оборонних закупівель. Наприклад, в доповіді до Закону про асигнування на оборону на 2007 фінансовий рік Комітету з питань оборонних відомств Палати представників Конгресу констатується: «Просто визнаємо, що процес закупівель МО порушений. Здатність МО здійснювати великомасштабні закупівлі для забезпечення національної безпеки в майбутньому викликає стурбованість комітету. Зростання вартості та порушення термінів виконання Великих оборонних програм закупівель (Major Defense Acquisition Programs – MDAP) призводять до постачання більш дорогих матеріальних засобів в меншій кількості. Причому занепокоєння комітету стосується всіх трьох компонентів процесу закупівель, включаючи розроблення вимог, укладання контрактів і закупівлі, а також фінансового менеджменту» [24].

Спроби покращити систему оборонних закупівель здійснюються як Конгресом, так і самим МО. Зазвичай найбільша увага приділяється значному підвищенню вартості закупівель, несвоечасності їх виконання та неможливості забезпечити війська необхідним обладнанням у визначені строки. Багато аналітиків вважає, що підвищення вартості закупівель та несвоечасності їх виконання послабляє війська та загрожує технологічній перевазі та військовим спроможностям США [25].

Законодавчою спробою, яка мала значний вплив на закупівлі ОВТ, було схвалення Конгресом США Закону про реформування системи закупівель ОВТ 2009 року [26], серед основних положень якого можна виділити:

- призначення Директора з питань оцінки витрат та виконання програм (Director of Cost Assessment and Program Evaluation), який безпосередньо взаємодіє з Міністром оборони та його заступником, розробляє політику та принципи оцінки витрат, а також визначає рівні достовірності для таких оцінок витрат;
- призначення Директора з питань дослідних випробувань та оцінки, який є головним радником Міністра оборони стосовно дослідних випробувань та оцінки, розробляє політику та принципи проведення дослідних випробувань та оцінки в Міністерстві оборони, а також здійснює перевірку, моніторинг та затверджує результати таких випробувань стосовно кожної з MDAP;
- призначення Директора з питань системного інжинірингу, який є головним радником Міністра оборони стосовно системного інжинірингу, розробляє політику та принципи використання системного інжинірингу, а також здійснює перевірку, моніторинг та затверджує результати стосовно кожної з MDAP;
- встановлення вимоги, щоб Директор з питань оборонних досліджень та інжинірингу періодично здійснював оцінку технологічної зрілості кожної з MDAP та щорічно доповідав Конгресу про результати, вимагаючи

використовувати макетування, коли це є практично можливим;

- встановлення вимоги, щоб бойові командири мали більший вплив на процес розроблення вимог;
- встановлення вимоги, щоб Міністерство оборони переглянуло принципи та більш жорстко регулювало конфлікти інтересів виконавців MDAP;
- встановлення вимоги, щоб керівник Секретаріату Міністерства оборони був відповідальним за проведення аналізу та оцінки ходу виконання MDAP, за якими в певній мірі спостерігається зростання вартості [25].

Проте, незважаючи на численні спроби реформування системи оборонних закупівель, різноманітні дослідження та доповіді, слухання в Конгресі США показують, що ці спроби неспроможні вплинути на вартісні та часові зростання.

Однією з таких спроб покращити загальне функціонування системи оборонних закупівель було затвердження в 2010 році заступником Міністра оборони з питань закупівель, технологій та логістики Меморандуму «Краща купівельна спроможність (Better Buying Power (BBP))»: керівництво щодо підвищення ефективності та продуктивності оборонних витрат» [27]. Меморандумом визначено 23 основні завдання для підвищення ефективності закупівель, в тому числі запровадження вимоги щодо доступності, підвищення рівня конкуренції та зменшення часу, необхідного для розробки і закупівлі ОВТ.

В 2012 році Меморандум BBP було оновлено (BBP 2.0) та розширено перелік завдань, зокрема щодо зменшення частоти перевірок вищим керівництвом, вдосконалення вимог та маркетингових досліджень.

В 2014 році запроваджено BBP 3.0, який продовжує підходи, запропоновані BBP 1.0 та 2.0, проте наголос переміщується на досягнення домінуючих спроможностей шляхом широкого впровадження інновацій та технічної досконалості.

В результаті запровадження BBP зростання контрактної вартості великих оборонних програм закупівлі протягом строку їх виконання впало до рекордно низького рівня за останні 30 років (з 9% в 2011 фінансовому році до 3,5% в 2015) [28].

Протягом останніх років основним механізмом реформування структури оборонних закупівель з боку Конгресу були щорічні закони про оборонний бюджет (National Defense Authorization Act (NDAA)). Деякі розділи цих законів стосуються як окремих програм закупівлі, так і структури закупівель в цілому. Розділ VIII зазвичай має назву: «Політика щодо закупівель, управління закупівлями та інші подібні питання».

Слід зауважити, що пріоритети реформування системи закупівель змінюються. В першій половині цього десятиріччя основна увага більшості зусиль щодо реформування зосереджувалась на контролі за витратами. Проте, на теперішній час переважні зусилля як з боку МО, так і з боку Конгресу США докладаються до прискорення процесу закупівлі та відновлення технологічної переваги над конкурентами, зокрема делеговано відповідальність за прийняття рішень за контрольними

рубежами видам ЗС, вносяться зміни до порядку закупівель програмного забезпечення; створюються он-лайн платформи для придбання комерційних технологій [29].

В лютому 2018 року офіційно проведено розподілення повноважень заступника Міністра оборони з питань закупівель, технологій та логістики на два напрями – заступник Міністра оборони з питань досліджень та розробок (Under Secretary of Defense for Research and Engineering) та заступник Міністра оборони з питань закупівель та підтримки (Under Secretary of Defense for Acquisition and Sustainment). Проте структура знов створених підрозділів ще остаточно не сформувалась, не врегульовані взаємовідносини між ними та іншими структурними підрозділами МО. Остаточне формування зазначених підрозділів також вплине на процес оборонних закупівель.

Основні зміни в 2018 році [29]:

1) Спрямованість на скорочення строків проведення закупівель (Procurement Administrative Lead Time PALT), що досягається шляхом:

- навчання професіоналів з питань укладання контрактів та малого бізнесу;
- створення інформаційного он-лайн ресурсу для оптимізації закупівель;
- надання повноважень командам щодо допущення зважених ризиків;
- створення інформаційного ресурсу щодо контролю за скороченням строків проведення закупівель.

2) Ефективна діяльність цільової групи щодо регулятивних змін (Regulatory Reform Task Force – RLTF), яка має здійснювати комплексну перевірку положень договорів та клопотань з метою визначення доцільності їх зміни або відміни.

3) Проведення експертних оцінок – Секретаріат Міністерства оборони здійснює експертну оцінку клопотань та контрактів щодо закупівель, що мають велику вартість або становлять особливий інтерес для надання відповідним структурним підрозділам допомоги з метою підвищення ефективності їх роботи.

4) Впровадження в щорічних Законах про оборонний бюджет вимог щодо участі малого бізнесу в оборонних закупівлях [30].

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз системи оборонного планування США та її еволюції виявляє такі її основні властивості [2, 4]:

1. Відкритість інформації щодо функціонування системи оборонного замовлення. Так, крім безлічі офіційних сайтів, існує шість відомчих і ще кілька комерційних журналів, присвячених даній тематиці.

2. Закріплення в керівних документах проектного підходу до управління ЖЦ, що реалізує процедури, описані в стандарті ISO 21500 [31].

3. Концентрування фахівців, необхідних МО США для керівництва і контролю виконання програми, в окремому підрозділі замовлення, що контролює одну програму.

4. Поділ оборонних програм за важливістю і вартістю на кілька категорій та збільшення контролю над ними із зростанням їх значущості.

5. Можливість паралельного виконання одних і тих же робіт на ранній стадії розробки декількома конкуруючими організаціями.

6. Регламентування підходу до визначення вимог на основі спроможностей, результатом якого може бути як рішення про створення виробу, так і рекомендації щодо проведення організаційних заходів.

7. Відсутність єдиного документа, який визначає вимоги до виробу. В ході розробки виходить послідовність документів, що уточнюють характеристики виробу, що створюється, які не є догмою й можуть бути змінені. Незмінним є лише документ, який визначає вимоги за призначенням (основні функції).

8. Існування так званого “еволюційного замовлення”, коли частина складових частин (з незрілими технологіями) буде створена і встановлена (замінена) пізніше, під час спланованої на етапі розробки модернізації виробу.

Як показує аналіз процесу оборонного планування США, втілення його деяких елементів у процес оборонного планування в Україні щодо технічного оснащення військових формувань може дозволити [32]:

централізувати процес технічного оснащення СБіО, проводячи при цьому чітко збалансовану державну ВТП, забезпечуючи гнучке коригування пріоритетних напрямів розвитку ОВТ у масштабі держави (СБіО), і концентрувати зусилля на найважливіших напрямках ВТП;

забезпечити суттєву економію засобів і ресурсів, наблизити фінансове планування до реальних завдань щодо розвитку технічного оснащення СБіО;

удосконалити розподіл функцій у вищій ланці системи управління ЗС, підвищити роль ГШ у процесах розвитку технічного оснащення військ, що повністю відповідає тенденціям розвитку воєнної справи;

підвищити ефективність контролю за процесами розвитку технічного оснащення військових формувань та витратами фінансових засобів воєнного бюджету.

Як показує проведений у статті аналіз, організаційна структура системи оборонного планування в США є дуже потужною як за кількістю задіяних осіб, так й за рівнем їх кваліфікації та значущості. Нормативно-правове забезпечення характеризуються великою кількістю регулюючих законів, директив, інструкцій тощо та звітних документів, що детально визначають та описують кожен етап та процес, починаючи з планування закупівель ОВТ та закінчуючи планом підтримки життєвого циклу.

З прийняттям Закону України «Про національну безпеку України» [33], в якому визначені основи та принципи національної безпеки і оборони, цілі та основні засади державної політики, система оборонного планування в Україні почала отримувати риси, що в глобальному плані характерні системі оборонного планування США.

Так, вперше, був визначений перелік документів довгострокового оборонного планування, до складу якого увійшли, в тому числі й Стратегія національної безпеки та Стратегія воєнної безпеки. Терміни середньострокового оборонного планування зменшені до 5 років, введений комплексний огляд сектору безпеки і оборони України тощо.

Крім того, в Україні розпочато роботу щодо зміни методології планування та переведення підходів планування розвитку ЗС, зокрема розвитку ОВТ, до планування “на основі спроможностей”. Триває робота щодо створення національної системи розроблення та поставання на виробництво ОВТ.

Тобто, в Україні на даний час проводиться масштабна робота щодо втілення організаційно-правових підходів системи оборонного планування США до системи оборонного планування України. Враховуючи існуючі відмінності між країнами як у структурі і розмірах ЗС та інших військових формувань, економічних відносинах, потужностях підприємств оборонної промисловості тощо, так й у обсягах фінансування потреб оборони, необхідно вирішувати багато проблемних питань обґрунтування остаточного вигляду такої системи в Україні.

Отже, результати проведеного в даній статті аналізу вказують на необхідність реорганізації системи оборонного планування в Україні шляхом впровадження більшої кількості елементів, процедур та принципів системи оборонного планування США з урахуванням особливостей оборонно-промислового комплексу України. Потребує реорганізації існуюча адміністративна система управління оборонним плануванням, необхідно створити відповідне нормативно-правове забезпечення та розробити науково-методичне забезпечення цього процесу на кожному його етапі.

В першу чергу доцільно переглянути структуру та збільшити чисельність і кваліфікацію кадрового потенціалу установ і організацій Замовника (МО України), оскільки його низький рівень (кількісний і якісний) не дозволить впровадити та повноцінно супроводжувати необхідні елементи і процеси оборонного планування. Недостатня на сьогоднішній час кількість відповідно підготовлених фахівців в установах Замовника призвела до спрощення функціонування системи оборонного планування в цілому та практично повного “ручного управління” оборонним замовленням.

В той же час, подібна проблема існує й з науковими установами Замовника, основними функціями яких в системах оборонного планування, програмування і замовлення є: наукове обґрунтування тактико-технічних вимог до нових (модернізованих) зразків (комплексів, систем) ОВТ; наукове обґрунтування основних напрямів і пріоритетів розвитку ОВТ у стратегічно-концептуальних документах довгострокового оборонного планування; наукове обґрунтування завдань і заходів у програмно-планових документах середньо- та короткострокового оборонного планування; науково-технічне супроводження виконання НДДКР за напрямом розвитку ОВТ. Низька чисельність наукових установ Замовника на даний час призводить до зниження якості

наукового обґрунтування змісту зазначених елементів та процесів оборонного планування, що на державному рівні викликає ризики неефективного використання вкрай обмежених асигнувань, які виділяються на розвиток та закупівлю ОВТ.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Затинайко О. І., Скурський П. П., Величко О. Ф. Система оборонного планування, програмування, розроблення бюджету та виконання збройних сил США. Наука і оборона, 2010. №3. С. 18-25.
2. Артеменко В. Б., Безденежных С. И. Обзор системы оборонного заказа МО США. Вооружение и экономика, 2014. № 1 (26). С. 21-33.
3. Борохвостов В. К., Борохвостов І. В., Рябець О. М. Аналіз нових підходів у плануванні розвитку озброєння та військової техніки США. Зб. наук. пр. ЦНДІ ОВТ ЗС України. Київ, 2015. Вип. 3(58). С. 53-62.
4. Keehan, M. P. Planning, Programming, Budgeting, and Execution (PPBE) Process (Процес планування, програмування, бюджетування та виконання (PPBE)). – Teaching note. – Defense Acquisition Univ. – Business, Cost Estimating, and Financial Management Department. April, 2006.
5. Офіційний сайт CBO.GOV. A Comparison of Science and Technology Funding for DoD’s Space and Nonspace Programs (Порівняння обсягів фінансування науки та технологій за космічними та некосмічними програмами МО) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cbo.gov/sites/default/files/110th-congress-2007-2008/reports/01-15-dod.pdf> (дата звернення: 22.05.2019).
6. Church, A. T. and Warner, T. DoD Planning, Budgeting, and Execution System: A Path Toward Improvement (Система планування, бюджетування та виконання МО: шлях до покращення). Joint Force Quarterly (JFQ), 2009. № 53. Р. 80–84.
7. Federal Acquisition Regulation (FAR) (Федеральний закон про закупівлі) від 22.08.2018 р. №2005-100, 48 CFR 1 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gsa.gov/policy-regulations/regulations/federal-acquisition-regulation-far> (дата звернення: 22.05.2019).
8. Defense Federal Acquisition Regulation Supplement (DFARS) (Збірник доповнень до Федерального закону про закупівлі щодо оборони) від 17.08.1998 р. (із змінами від 30.04.2019 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.acq.osd.mil/dpap/dars/dfarspgi/current/> (дата звернення: 22.05.2019).
9. Army Acquisition Procedures (Порядок оборонного замовлення в Сухопутних військах). Department of the Army Pamphlet (Брошура Департаменту Сухопутних військ МО США) 70-3 від 17.09.2018 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://armypubs.army.mil/ProductMaps/PubForm/Details.aspx?PUB_ID=1005269 (дата звернення: 22.05.2019).
10. The Navy Marine Corps Acquisition Regulation Supplement (NMCARS) (Доповнення щодо

- закупівель у ВМФ та Морській піхоті) від 04.2018 (із змінами від 19.04.2019 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.secnav.navy.mil/rda/Policy/2019%20Policy%20Memoranda/NMCARS-Change-18-05%20FINAL.docx> (дата звернення: 22.05.2019).
11. National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2019 (Закон про видатки на національну оборону на 2019 бюджетний рік) H.R.5515 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/5515/text> (дата звернення: 22.05.2019).
 12. Department of Defense Directive «The Defense Acquisition System» (Директива МО США «Система оборонного замовлення») від 12.05.2003 р. №5000.01 (із змінами від 31.08.2018 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodd/500001p.pdf?ver=2018-09-28-073203-530> (дата звернення: 22.05.2019).
 13. Department of Defense Instruction «Operation of the Defense Acquisition System» (Інструкція МО США «Функціонування системи оборонного замовлення») від 07.01.2015 р. №5000.02 (із змінами від 20.05.2019 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodi/500002p.pdf?ver=2019-05-01-151755-110> (дата звернення: 22.05.2019).
 14. Defense Acquisition Guidebook (Керівництво з системи оборонного замовлення) із змінами від 25.01.2018 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.dau.mil/tools/dag> (дата звернення: 22.05.2019).
 15. Chairman of the Joint Chiefs of Staff Instruction «Charter of the Joint Requirements Oversight Council (JROC)» and Implementation of the Joint Capabilities Integration and Development System (JCIDS) (Інструкція Керівника Об'єднаного комітету штабів США «Система інтеграції та розвитку спільних спроможностей») від 31.08.2018 р. №5123.01H [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://acqnotes.com/wp-content/uploads/2018/11/CJCSI-5123.01H-Charter-of-the-Joint-Requirements-Oversight-Council-JROC-and-Implementation-of-the-JCIDS-31-Aug-2018.pdf> (дата звернення: 22.05.2019).
 16. Department of Defense Directive «The Planning, Programming, Budgeting and Execution (PPBE) Process» (Директива МО США «Процес планування, програмування, бюджетування та виконання») від 25.01.2013 р. №7045.14 (із змінами від 29.08.2017 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodd/704514p.pdf?ver=2017-08-29-132032-353> (дата звернення: 22.05.2019).
 17. National Security Strategy (Стратегія національної безпеки) від 18.12.2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [whitehouse.gov/wp-content/uploads/2017/12/NSS-Final-12-18-2017-0905-2.pdf](https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2017/12/NSS-Final-12-18-2017-0905-2.pdf) (дата звернення: 22.05.2019).
 18. National Military Strategy (Національна воєнна стратегія), червень 2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nssarchive.us/NMS/2015.pdf> (дата звернення: 22.05.2019).
 19. National Defense Strategy (Національна стратегія оборони) від 18.12.2018 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf> (дата звернення: 22.05.2019).
 20. The Army Strategic Planning Guidance 2013 (Керівництво із стратегічного планування Сухопутних військ США 2013) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.army.mil/e2/rv5_downloads/info/references/army_strategic_planning_guidance.pdf (дата звернення: 22.05.2019).
 21. Defense Planning Guidance, FY 1994-1999 (Керівництво з оборонного планування) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://archive.org/details/DefensePlanningGuidanceFY1994-1999/page/n11> (дата звернення: 22.05.2019).
 22. Quadrennial Defense Review (Чотирьохрічний огляд оборонної політики), 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.dod.defense.gov/Portals/1/features/defenseReviews/QDR/20140302_FINAL_QDR_Fact_Sheet_v13_CLEAN.pdf (дата звернення: 23.05.2019).
 23. Technology Readiness Assessment Guide (Керівництво з питань оцінки готовності технологій) GAO-16-410G від 11.08.2016 ([Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gao.gov/mobile/products/GAO-16-410G.pdf> (дата звернення: 23.05.2019).
 24. Офіційний сайт CONGRESS.GOV. Report of the Committee on Armed Services of House of Representatives on H.R. 5122 (Доповідь Комітету по оборонних відомствах Палати представників Конгресу США стосовно H.R. 5122) 109-402 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.congress.gov/congressional-report/109th-congress/house-report/452/1> (дата звернення: 23.05.2019).
 25. Schwartz, M. Defense Acquisitions: How DOD Acquires Weapon Systems and Recent Efforts to Reform the Process (Оборонні закупівлі: як МО закуповує системи озброєння та нещодавні спроби реформувати цей процес) // Congressional Research Service Report, May 23, 2014 (Доповідь Дослідницької служби Конгресу від 23.05.2014) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/RL/RL34026> (дата звернення: 23.05.2019).
 26. Public Law 111-23 «Weapon Systems Acquisition Reform Act of 2009» (Закон 111-23 «Реформування закупівель систем озброєння» від 2009 р.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.congress.gov/111/plaws/publ23/PLAW-111publ23.htm> (дата звернення: 23.05.2019).

27. Офіційний сайт ACQ.OSD.MIL. Better Buying Power: Guidance for Obtaining Greater Efficiency and Productivity in Defense Spending (Краща купівельна спроможність: керівництво щодо підвищення ефективності та продуктивності оборонних витрат) // Memorandum for Acquisition Professionals, Sept. 14, 2010 (Меморандум для професіоналів в сфері закупівель). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.acq.osd.mil/fo/docs/USD\(AT&L\)_Implementation_Directive_Better_Buying_Power_110310.pdf](https://www.acq.osd.mil/fo/docs/USD(AT&L)_Implementation_Directive_Better_Buying_Power_110310.pdf) (PPBE) (дата звернення: 23.05.2019).
28. Офіційний сайт DAUAA.ORG. Should Cost Management for Product Support (Управління бажаною вартістю для підтримки продукту), DAU Acquisition Training Symposium, Apr 4, 2017. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://daaaa.org/wp-content/uploads/2017/03/Should_Cost_Mgmt.pdf (дата звернення: 23.05.2019).
29. Офіційний сайт CSIS.ORG. Acquisition Trends 2018: Defense Contract Spending Bounces Back Executive Summary (Тренди системи закупівель 2018: огляд щодо підвищення витрат за оборонними контрактами) / Brief, Sept 13, 2018 // Center for Strategic and International Studies [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.csis.org/analysis/acquisition-trends-2018-defense-contract-spending-bounces-back-executive-summary> (дата звернення: 23.05.2019).
30. Stiglich, J. What's Happening Now! (Що відбувається зараз) / Defense Pricing. Defense Procurement&Acquisition Policy, April 2018 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://business.defense.gov/Portals/57/DoD%20Contracting%20update%20SBTW18.pdf?ver=2018-05-02-095150-543> (дата звернення: 23.05.2019).
31. ISO 21500 Guidance on Project Management (Керівництво з менеджменту проєктів).
32. Василенко О. В., Борохвостов І. В., Ленський Л. М., Смірнов О. В. Методологічні аспекти формування державної військово-технічної політики // 36. наук. пр. ЦНДІ ОБТ ЗС України. Київ, 2010. № 15. С. 88-104.
33. Про національну безпеку України: Закон України від 21.06.2018 № 2469-VIII. Відомості Верховної Ради України. 2018. №31. Ст. 241.
4. Keehan, M. P. (2006), «Planning, Programming, Budgeting, and Execution (PPBE) Process», *Teaching note. Defense Acquisition University. Business, Cost Estimating, and Financial Management Department.*
5. The official site of CBO.GOV (2019), «A Comparison of Science and Technology Funding for DoD's Space and Nonspace Programs», available at: <https://www.cbo.gov/sites/default/files/110th-congress-2007-2008/reports/01-15-dod.pdf> (accessed 22 May 2019).
6. Church, A. T. (2009), «DoD Planning, Budgeting, and Execution System: A Path Toward Improvement», *Joint Force Quarterly (JFQ)*, No. 53, pp. 80–84.
7. Federal Acquisition Regulation (FAR) (2018) No. 2005-100 dated 22.08.2018, 48 CFR 1, latest change of 30.04.2019, available at: <https://www.gsa.gov/policy-regulations/regulations/federal-acquisition-regulation-far> (accessed 22 May 2019).
8. Defense Federal Acquisition Regulation Supplement (DFARS) (1998), dated 17.08.1998, latest change of 30.04.2019, available at: <https://www.acq.osd.mil/dpap/dars/dfarspgi/current/> (accessed 22 May 2019).
9. Army Acquisition Procedures (2018), *Department of the Army Pamphlet*, No. 70-3 dated 17.09.2018, available at: https://armypubs.army.mil/ProductMaps/PubForm/Details.aspx?PUB_ID=1005269 (accessed 22 May 2019).
10. The Navy Marine Corps Acquisition Regulation Supplement (NMCARS) (2018), latest change of 19.04.2019, available at: <https://www.secnv.navy.mil/rda/Policy/2019%20Policy%20Memoranda/NMCARS-Change-18-05%20FINAL.docx> (accessed 22 May 2019).
11. National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2019 H.R.5515, available at: <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/5515/text> (accessed 22 May 2019).
12. Department of Defense Directive (2003), «*The Defense Acquisition System*» No. 5000.01 dated 12.05.2003, latest change of 31.08.2018, available at: <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodd/500001p.pdf?ver=2018-09-28-073203-530> (accessed 22 May 2019).
13. Department of Defense Instruction (2015), «*Operation of the Defense Acquisition System*» No. 5000.02 dated 07.01.2015, latest change of 20.05.2019, available at: <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodi/500002p.pdf?ver=2019-05-01-151755-110> (accessed 22 May 2019).
14. Defense Acquisition Guidebook (2018), latest change of 25.01.2018, available at: <https://www.dau.mil/tools/dag> (accessed 22 May 2019).
15. Chairman of the Joint Chiefs of Staff Instruction (2018), «*Charter of the Joint Requirements Oversight*

REFERENCES

1. Zatyanaiko, O. I., Skurskiy, P. P and Velychko, O. F. (2010), «Systema oboronogo planuvannia, programuvannia, rozroblennia budgetu ta vykonannia zbroinyh syl SSHA» [Defense Planning, Programming, Budgeting, and Implementing US Armed Forces] *Science and Defence*, No. 3, pp. 18-25.
2. Artemenko, V. B. and Bezdenezhnych, S. I. (2014), «Obzor sistemy oboronogo zakaza MO SSHA» [Defense Order Review System of MD USA], *Armament and Economics*, No. 1 (26), pp. 21-33.
3. Borokhvostov, V. K., Borokhvostov, I. V. and Riabets, O. M. (2015), «Analiz novykh pidhodiv u

- Council (JROC) and Implementation of the Joint Capabilities Integration and Development System (JCIDS)»* No. 5123.01H dated 31.08.2018, available at: <https://acqnotes.com/wp-content/uploads/2018/11/CJCSI-5123.01H-Charter-of-the-Joint-Requirements-Oversight-Council-JROC-and-Implementation-of-the-JCIDS-31-Aug-2018.pdf> (accessed 22 May 2019).
16. Department of Defense Directive (2013), «*The Planning, Programming, Budgeting and Execution (PPBE) Process*» No. 7045.14 dated 25.01.2013, latest change of 29.08.2017, available at: <https://www.esd.whs.mil/Portals/54/Documents/DD/issuances/dodd/704514p.pdf?ver=2017-08-29-132032-353> (accessed 22 May 2019).
 17. National Security Strategy (2017), available at: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2017/12/NSS-Final-12-18-2017-0905-2.pdf> (accessed 22 May 2019).
 18. National Military Strategy (2015), available at: <https://nssarchive.us/NMS/2015.pdf> (accessed 22 May 2019).
 19. National Defense Strategy (2018), available at: <https://www.defense.gov/Portals/1/Documents/pubs/2018-National-Defense-Strategy-Summary.pdf> (accessed 22 May 2019).
 20. The Army Strategic Planning Guidance (2013), available at: https://www.army.mil/e2/rv5_downloads/info/references/army_strategic_planning_guidance.pdf (accessed 22 May 2019).
 21. Defense Planning Guidance, FY 1994-1999, available at: <https://archive.org/details/DefensePlanningGuidanceFY1994-1999/page/n11> (accessed 22 May 2019).
 22. Quadrennial Defense Review (2014), available at: https://www.dod.defense.gov/Portals/1/features/defenseReviews/QDR/20140302_FINAL_QDR_Fact_Sheet_v13_CLEAN.pdf (accessed 23 May 2019).
 23. Technology Readiness Assessment Guide (2016) GAO-16-410G dated 11.08.2016, available at: <https://www.gao.gov/mobile/products/GAO-16-410G.pdf> (accessed 23 May 2019).
 24. The official site of CONGRESS.GOV (2006) «*Report of the Committee on Armed Services of House of Representatives on H.R. 5122 No. 109-402*», available at: <https://www.congress.gov/congressional-report/109th-congress/house-report/452/1> (accessed 23 May 2019).
 25. Schwartz M. (2014), «*Defense Acquisitions: How DOD Acquires Weapon Systems and Recent Efforts to Reform the Process*», *Congressional Research Service Report*, May 23, 2014, available at: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/RL/RL34026> (accessed 23 May 2019).
 26. Public Law 111-23 (2009), «*Weapon Systems Acquisition Reform Act of 2009*», available at: <https://www.congress.gov/111/plaws/pub123/PLAW-111pub123.htm> (accessed 23 May 2019).
 27. The official site of ACQ.OSD.MIL (2010), «*Better Buying Power: Guidance for Obtaining Greater Efficiency and Productivity in Defense Spending. Memorandum for Acquisition Professionals, Sept. 14, 2010*», available at: [https://www.acq.osd.mil/fo/docs/USD\(AT&L\)_Implementation_Directive_Better_Buying_Power_110310.pdf](https://www.acq.osd.mil/fo/docs/USD(AT&L)_Implementation_Directive_Better_Buying_Power_110310.pdf) (PPBE) (accessed 23 May 2019).
 28. The official site of DAUAA.ORG (2017), «*Should Cost Management for Product Support, DAU Acquisition Training Symposium, Apr 4, 2017*», available at: https://dauaa.org/wp-content/uploads/2017/03/Should_Cost_Mgmt.pdf (accessed 23 May 2019).
 29. The official site of CSIS.ORG (2018), «*Acquisition Trends 2018: Defense Contract Spending Bounces Back Executive Summary, Brief, Sept 13, 2018, Center for Strategic and International Studies*», available at: <https://www.csis.org/analysis/acquisition-trends-2018-defense-contract-spending-bounces-back-executive-summary> (accessed 23 May 2019).
 30. Stiglich, J. (2018), «*What's Happening Now!*», *Defense Pricing, Defense Procurement & Acquisition Policy*, April 2018, available at: <https://business.defense.gov/Portals/57/DoD%20Contracting%20update%20SBTW18.pdf?ver=2018-05-02-095150-543> (accessed 23 May 2019).
 31. ISO 21500 Guidance on Project Management.
 32. Vasylenko, O. V., Borokhivostov, I. V., Lenskiy, L. M. and Smirnov, O. V. (2010), «*Metodologichni aspekty formuvannia derzhavnoyi viyskovo-tehnichnoyi polityky*» [Methodological aspects of the formation of the state military-technical policy], *Scientific Works of Central research inst. of weapons and military equipment of the Armed Forces of Ukraine*, No. 15, pp. 88-104.
 33. The Law of Ukraine (2018), «*Pro natsionalnu bezpeku Ukrainy» No. 2469-VIII vid 21.06.2018 [About national security of Ukraine No. 2469-VIII dated 21.06.2018]*, Vidomosti Verhovnoi Rady, №31, p. 241.

Відомості про авторів:

Чепков Ігор Борисович

доктор технічних наук, професор
начальник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>

Сотник Владислав Віталійович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
заступник начальника Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України з наукової роботи,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1094-6257>

Борохвостов Ігор Валерійович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
головний науковий співробітник науково-дослідного управління воєнно-технічної політики Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5410-7140>

Бондарчук Марія Вікторівна

старший науковий співробітник науково-дослідного відділу науково-методичного забезпечення розроблення і реалізації програм розвитку озброєння та військової техніки та державного оборонного замовлення науково-дослідного управління воєнно-технічної політики Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,

Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-4032-817X>

Білокур Микола Олександрович

ад'юнкт науково-організаційного відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,

Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-2954-8497>

Information about the authors:**Ihor Chepkov**

Doctor of Technical Sciences, Professor
Chief of Central scientific research institute of armament and military equipment of the Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>

Vladislav Sotnyk

Candidate of Technical Sciences, Senior Research
Chief Researcher

Deputy Chief of Central scientific research institute of armament and military equipment of the Armed Forces of Ukraine
for Research

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-1094-6257>

Ihor Borokhvostov

Candidate of Technical Sciences, Senior Research
Chief Researcher

of Scientific Research Management of Military Technical Policy
of Central scientific research institute of armament and military
equipment of the Armed Forces of Ukraine

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-5410-7140>

Mariia Bondarchuk

Senior Research Associate

of Scientific Research Department of Methodology of Armaments
Development Programs and State Defense Procurement Order
of Scientific Research Management of Military Technical Policy

of Central scientific research institute of armament and military
equipment of the Armed Forces of Ukraine,

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-4032-817X>

Mykola Bilokur

Doctoral Student

of Scientific Organizational Department
of Central scientific research institute of armament and military
equipment of the Armed Forces of Ukraine,

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-2954-8497>

Стаття надійшла до редколегії 10.06.2019 р.

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

<https://orcid.org/0000-0002-1919-8526>

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

<https://orcid.org/0000-0002-4998-726X>

УДК 623.454: 623.438

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3\(23\).16-25](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3(23).16-25)

І. Б. ЧЕПКОВ, доктор технічних наук, професор,
начальник інституту

<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>

А. С. ДОВГОПОЛИЙ, доктор технічних наук,
професор, головний науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0001-9227-9771>

О. М. ГУСЛЯКОВ, кандидат технічних наук,
начальник науково-дослідної лабораторії
<https://orcid.org/0000-0002-3893-9465>

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

Концептуальні засади створення вітчизняних ударно-розвідувальних наземних роботизованих комплексів важкого класу

У статті на підґрунті аналізу світового досвіду та закордонних розробок ударно-розвідувальних наземних роботизованих комплексів важкого класу запропоновано підхід та основні заходи щодо створення вітчизняних аналогів на шасі екіпажних зразків бронетанкового озброєння та військової техніки. Наведено підхід щодо вибору базової моделі зразка та зміст етапів створення роботизованих комплексів важкого класу. Проведено аналіз основних систем та складових окремих зразків даного класу.

Ключові слова: ударно-розвідувальний наземний роботизований комплекс, дистанційне керування, бронетранспортер, система технічного зору, безекіпажні машини.

В статье на основе анализа мирового опыта и заграничных разработок ударно-разведывательных наземных роботизированных комплексов тяжелого класса предложены подход и основные мероприятия по созданию отечественных аналогов на шасси экипажных образцов бронетанкового вооружения и военной техники. Приведены подход к выбору базовой модели образца и содержание этапов создания роботизированных комплексов тяжелого класса. Проведен анализ основных систем и составляющих отдельных образцов данного класса.

Ключевые слова: ударно-разведывательный наземный роботизированный комплекс, дистанционное управление, бронетранспортер, система технического зрения, безэкипажные машины.

ВСТУП

Використання протитанкових ракетних комплексів (ПТРК) з наведенням по лазерному променю (типу “Ступна”, Україна) та головками самонаведення (типу “Джевелін”, США) дозволяє забезпечувати ефективне ураження броньованих цілей на великих дистанціях. Імовірність ураження цілей набагато більша, ніж при використанні гармат або звичайних гранатометів. В зв’язку з чим, морально-психологічний стан екіпажів буде суттєво впливати на виконання бойових завдань бронетанковими підрозділами. Використання ударно-розвідувальних (УР) наземних роботизованих комплексів (НРК) дозволяє суттєво знизити, а може й виключити вплив морально-психологічного стану екіпажів на результативність виконання бойових завдань.

В основу розвитку таких НРК в США покладені довготривале планування та висока інтенсивність науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДР та ДКР) як за кошти оборонного бюджету, так і за рахунок великих корпорацій. Вже сьогодні на озброєнні сухопутних військ та морської піхоти є тисячі НРК різного призначення, основним призначення яких є розвідка та виконання інженерних задач. Останнім часом підвищилась роль багатофункціональних УР безекіпажних машин [1, 2].

Розвиток НРК в Російській Федерації (РФ), за оцінками російських фахівців (станом на 2018 рік), відстає від Заходу на 5-10 років [3]. Для зменшення відставання, в РФ прийнято ряд нормативно-правових актів, програм, суттєво підвищилось фінансування напрямку досліджень та розробок НРК як за бюджетні кошти, так і за рахунок крупних розробників ОВТ. Створені спеціальні органи управління в системі Міністерства оборони (МО) РФ. Дослідження ряду передових наукових установ Російської академії наук та інших відомств сконцентровані на вирішенні проблем створення НРК. За оцінками російських та американських експертів, прийняття цих заходів з боку РФ дозволило дещо скоротити відставання від Заходу [4, 5]. Але низький рівень російських технологій виготовлення радіо- та опто-електронної елементної бази та компонентів штучного інтелекту не дозволяє повністю подолати відставання від Заходу.

Сьогодні більшість НРК в РФ створені на базі західних зразків, або мають суттєву долю імпортованих комплектуючих. Одиначні зразки НРК в основному використовуються як дистанційно-керовані (ДК) інженерні машини. Широкого розголосу набув факт використання багатофункціонального УР НРК “Уран-9” в Сирії та прийняття його на озброєння Збройними силами РФ в кінці 2018 року [5 - 7].

В Україні на сьогодні відсутні системні підходи щодо створення НРК для сухопутних військ (СВ), десантно-штурмових військ та для виконання завдань операції об’єднаних сил (ООС). Це стосується і багатофункціональних УР НРК. Створення всіх НРК - безсистемне на волонтерських засадах. Відсутня державна політика щодо роботизованих систем, відсутня стратегія застосування НРК в бойових діях. Створені зразки НРК, як правило, є по суті макетами та не мають документації,

відповідно до якої Збройні Сили України (ЗС України) та інші силові структури зможуть прийняти їх на озброєння.

Для оцінки часових термінів відставання України в розробці УР НРК важкого класу від держави агресора необхідно враховувати наступні фактори: час на розробку концептуального обриса УР НРК та вибір базової моделі; час на розробку та узгодження тактико-технічного завдання разом з головним виконавцем; час на прийняття рішення щодо фінансування роботи; час на розробку документації дослідних зразків; час на узгодження внутрішньої та зовнішньої кооперації; час на виготовлення дослідних зразків, заводські та державні випробування; рішення про прийняття на озброєння та серійне виробництво; підготовка серійного виробництва та виготовлення установчої партії УР НРК важкого класу.

Паралельно із згаданими роботами Генеральним штабом (ГШ) ЗС України повинні бути: розроблені стратегія, форми та способи застосування УР НРК в різних бойових умовах; приведена у відповідність перспективна оргштатна структура підрозділів; відпрацьовані відповідні програми навчання військовослужбовців; визначені роль та місце роботизованого озброєння в загальній структурі ЗС України.

Виходячи з досвіду розробок озброєння та військової техніки (ОВТ), можна стверджувати, що відставання України з розробки УР НРК важкого класу від РФ сягає 5-7 років.

Метою статті є узагальнення світового досвіду створення багатоцільових УР НРК важкого класу, аналізу вітчизняних досягнень в створенні бронетанкового озброєння (БТО) з високим ступенем автоматизації, розроблення пропозицій щодо створення прототипу вітчизняного багатоцільового УР НРК важкого класу, розроблення поглядів на етапи створення такої техніки для ЗС України, виходячи з необхідності подолання відставання від передових країн світу.

Для досягнення поставленої мети в роботі проаналізовані та узагальнені закордонні зразки НРК, зокрема ТТХ: найбільш важкого НРК “Black Knight” (США, Англія); багатоцільового НРК “MULE” (США); багатоцільових НРК “Уран-9”, “Вихрь” та “Удар” (РФ).

За оцінками експертів [4, 8, 9], найбільш важливими бойовими задачами УР НРК є:

використання УР НРК з ходу при штурмі об’єктів та позицій противника;

використання УР НРК для розвідки місця знаходження позицій та техніки противника;

використання УР НРК для знешкодження цілей з підготовлених позицій та на зупинці протягом короткого часу;

виконання окремих задач при взаємодії з маневреними засобами ближнього бою для знешкодження броньованих та вогневих засобів противника;

патрулювання та охорона військових складів, блокування та інших важливих об’єктів.

Узагальнення світового досвіду створення УР НРК важкого класу [1 - 9] показує, що такі НРК мають чотири основні складові:

перша з них – це базова модель мобільної частини НРК;

друга – пункт ДК мобільною частиною НРК або групою мобільних частин НРК;

третя – автономні засоби розвідки, ретрансляції управляючих команд на базі коптерів або висувних шогл;

четверта – підрозділи матеріально-технічного забезпечення НРК, які мають необхідні боекомплекти, запасні частини та агрегати, а також підготовлений особовий склад.

В якості базової моделі мобільної частини НРК може бути використане штатне “екіпажне” БТО, або розроблена спеціалізована базова модель рухомої частини НРК. Мобільна система НРК в своєму складі має базове шасі та бойовий модуль з озброєнням і апаратурою розвідки. Для ДК базовим шасі та бойовим модулем використовуються комплекси бортової апаратури ДК шасі, вогнем та розвідкою. Для виконання бойових завдань при комплексній протидії радіоелектронним засобам (РЕЗ) противника, повинна застосовуватись система програмного керування шасі, що забезпечить повернення мобільної частини НРК на вихідну позицію в автономному режимі по заданій програмі.

До складу апаратури ДК базовим шасі та бойовим модулем входять системи технічного зору (СТЗ), які забезпечують: панорамний огляд поля бою командирам; можливість управління кермом базового шасі НРК оператором-водієм; ведення розвідки та управління вогнем оператором-стрілком або командиром; 3D сканування маршруту для обминання перешкод, створення бази даних маршруту для автономного повернення НРК у вихідну позицію.

Апаратура СТЗ забезпечує виконання завдань вдень та вночі, а також в складних погодних умовах. Крім того, в системі управління бойовим модулем використовуються інфрачервоні прилади, лазерний далекомір та система стабілізації, що забезпечує гіростабілізацію озброєння в русі та при стрільбі. Бойові модулі УР НРК забезпечують: кути наведення зброї в вертикальній площині – 10 град. - 75 град.; кути наведення зброї в горизонтальній площині - 360 град.; максимальні швидкості наведення 90 - 110 град./с.

В системі наведення ракет “Уран-9” використовується радіоканал міліметрового радіоканалу [8]. На рухомій частині НРК розміщені сенсори лазерного опромінення та системи постановки секторальних димових завад, а також в своєму складі НРК має систему визначення “свій-чужий”.

Для забезпечення інформацією про місце положення рухомої частини НРК відносно пункту дистанційного керування (ПДК) в складі апаратури повинна бути комплексна система навігації (КСН) в складі супутникової (ССН), інерціальної (ІСН) та одометричної систем навігації.

ПДК мобільною частиною НРК або групою НРК та апаратура ДК змонтовані на базовому шасі. Для обміну інформацією з мобільної частини НРК та ПДК використовуються захищені радіоканали. Апаратура ДУ

НРК включає системи керування рухом базового шасі оператором та бойовим модулем (вогнем і розвідкою) під управлінням оператора або командира.

Слід зауважити, що досвід застосування УР НРК “Уран-9” в Сирії виявив суттєвий недолік ДК з використанням ретранслятора радіоканалу на висувній шоглі ПДК, який полягає у втраті керованості в зоні так званої “радіотіні” в міській та промисловій забудовах [5]. Цей недолік може бути усунутий при розміщенні ретранслятора радіоканалу на “прив’язному” квадрокоптері.

Крім того, втрата керованості НРК настає від завад в радіоканалі ДК від дії РЕЗ противника. Вплив РЕЗ противника також призводить до втрати надійної працездатності ССН.

Аналіз характеристик розроблених УР НРК важкого класу показує, що вага цих машин сягає від 3,5 до 18,4 т, вони, як правило, оснащені дизельними двигунами потужністю від 300 до 500 к.с., мають діапазон максимальних швидкостей 35-40 км/год. На одній заправці запас ходу згаданих НРК може бути 200-600 км, або забезпечувати тривалість безперервної роботи близько 8 годин. Загальносвітова тенденція розвитку цих НРК полягає в застосуванні гібридних двигунів, які можуть забезпечити приховану роботу НРК в зоні безпосереднього зіткнення з противником.

Склад озброєння УР НРК різної комплектації залежить від специфіки бойових завдань [2, 10]. Так, в УР НРК важкого класу використовуються:

23-30-мм гармати з боекомплексом до 200 пострілів (“Вихрь” та “Уран-9”, РФ), (“Black Knight” та “MULE”, США);

протитанкові управляемі ракети (ПТУР) до чотирьох одиниць (“Вихрь”, РФ);

кулемети калібру 7,62 (“Black Knight”, США та “Вихрь”, РФ) до 1000 - 1200 пострілів;

до 4-х ПУ переносних зенітних ракетних комплекси (ПЗРК) (“Вихрь”, РФ);

до 12 вогнететів (“Вихрь”, РФ);

гранатомет 25x59 мм з 300 пострілами (“MULE”, США).

Підходи щодо вибору базової моделі УР НРК важкого класу. В світовій практиці є два підходи до створення УР НРК важкого класу, перший з них - це створення зразка шляхом “роботизації” зразків БТО, які знаходяться на озброєнні, другий - створення керованих напівавтономних чи автономних НРК на спеціалізованих шасі. Так наприклад, важкий УР НРК “Вихрь” створений на основі базового шасі БМП-3 та бойового модулю АБМ-БСМ-30, а у важкому УР НРК “Black Knight” використані базові компоненти БМП М2 “Bredley”. Прикладами створення УР НРК важкого класу з “чистого листа”, мається на увазі створення нових машин УР НРК підвищеної прохідності, є прототип ARV-A-L (США) та зразок “Уран-9” (РФ) [11].

Концептуальні відмінності створення УР НРК важкого класу “Уран-9”, “Вихрь” та “Black Knight” полягають в тому, що [11, 12]:

при створенні зразків УР НРК розробники РФ фокусувалися на можливостях безпечного подавлення цілей

ракетами з підготовлених позицій, проведення диверсійних операцій та протидії штурмовій та армійській авіації над районом бойових дій;

при створенні зразків УР НРК західні розробники акцентували увагу на високому потенціалі виконання вузькопрофільних задач у мережецентричному динамічному середовищі. Високий рівень бронезахисту та велика швидкість переміщення дозволяють надавати вогневу підтримку військам без залучення екіпажних машин, виконання функцій евакуатора з поля бою для декількох осіб чи доставку боєприпасів на поле бою без ризику для життя екіпажу. На відміну від розробок РФ, в західних зразках гармата та ПТУРи захищені бронєю. Під бронєю може знаходитись малогабаритний квадрокоптер розвідки навколишньої території.

При виборі базової моделі для створення вітчизняного УР НРК важкого класу будемо виходити з наступних постулатів:

Україні необхідно ліквідувати відставання в сфері створення роботизованих бойових систем від провідних країн світу;

для “роботизації” доцільно віддавати перевагу розробленим в Україні новим зразкам БТО з бойовим потенціалом, близьким до кращих світових зразків НРК.

Основні характеристики нових, розроблених в Україні, зразків БТО, які за своїми характеристиками близькі до закордонних УР НРК важкого класу, наведені в табл. 1 і 2.

Як показує аналіз показників цих таблиць, ударні можливості (наявність гармати та спареного з нею кулемета, гранатомета та двох ПТУРів) БТР-3ДА та БТР-4Е найбільш близькі до згаданих вище зразків НРК “Black Knight”, “MULE” (США) та “Уран-9”, “Вихрь” (РФ). Крім того, бойові модулі БТР-3ДА та БТР-4Е обладнані СТЗ, що включає денні, нічні та інфрачервоні сенсори, для забезпечення розвідки цілей та наведення зброї на ціль. Лазерний далекомір забезпечує вимірювання дистанції до цілі.

Керування бойовим модулем дистанційне й виконується стрільком-оператором або командиром в машині. Для ДК бойовим модулем поза меж машини слід мати захищені радіолінії зв’язку та обміну інформацією з ПДК роботизованою системою.

В БТР-3ДА та БТР-4Е ходові характеристики близькі, а деякі перевищують згадані зарубіжні зразки. Крім того, в цих двох вітчизняних зразках БТР встановлені автоматична коробка передач та рульове управління, що дозволяє встановити ДК шасі, при наявності відповідних СТЗ та систем обміну інформацією з ПДК. Бойові завдання, що виконуються закордонними НРК, виконуються вітчизняними БТР в екіпажному варіанті.

На відміну від БТР-3Д в БТР-4Е є захист від кумулятивних протитанкових гранатометів та протимінний захист, збільшена потужність двигуна на 100 к.с. та запас ходу на 100 км. При цьому повна вага БТР-4Е з захистом складає понад 23 т. Тому, виходячи з того, що БТР-4Е є більш захищеним від гранатометів та мін, має збільшений запас ходу та потужність двигуна, прийнятій на озброєння ЗС України, а також вирішені всі

Таблиця 1

Основні характеристики БТР-ЗДА

Виробник БТР-ЗДА – Київський бронетанковий завод Допущений до експлуатації наказом НГШ ЗС України № 240 від 18.11.2015 р.			
Конфігурація 8x8	Силова установка: дизель Deutz 8F6M	Максимальна швидкість 100 км/год	Рівень захисту: лобовий - від куль 12,7 мм; боковий - від куль 7,62 мм; протимінний відповідно до STANAG-4569 - Level 2;
Споряджена маса 17,5 т	Потужність двигуна 350 к.с.		
Екіпаж, десант: 3+7 військово- службовців	Автоматична гідромеханічна трансмісія Allison 3200	Запас ходу - 600 км	
Бойовий модуль: “Штурм” з системою гіростабілізації озброєння	Зброя: гармата ЗТМ-1 (2А72); кулемет КТ-7,62 (або ПКТ); гранатомет КБА-117; (або АГ-17); ПТУР 212, “Бар’єр”	Наведення: оптико- телевізійна система, лазерний далекомір, панорамний комплекс. Система навігації на основі GPS	Кути наведення: горизонтальна площина –360° вертикальна площина – від 8° до 45°

Таблиця 2

Основні характеристики БТР-4Е

Виробник БТР-4Е ДП –ХКБ з машинобудування ім. О. Морозова Прийнятий на озброєння наказом НГШ ЗСУ № 489 від 24.07.2012 р.			
Конфігурація 8x8	Силова установка: дизель Deutz BF6M1015CP	Максимальна швидкість 110 км/год	Рівень захисту: круговий - від куль 12,7 мм; протимінний відповідно до STANAG-4569 - Level 2
Споряджена маса 21,9 т	Потужність двигуна 449 к.с.		
Екіпаж + десант: 3+7 військово- службовців	Автоматична гідромеханічна трансмісія Allison 4500	Запас ходу - 700 км	
Бойовий модуль: “Парус” з системою гіростабілізації озброєння	Зброя: гармата ЗТМ-1 (2А72); кулемет КТ-7,62 (або ПКТ); гранатомет КБА-117; (або АГ-17); ПТУР 212, “Бар’єр”	Наведення: оптико- телевізійна система, лазерний далекомір, панорамний комплекс. Система навігації на основі GPS	Кути наведення: горизонтальна площина –360° вертикальна площина – від 8° до 45°

питання матеріально-технічного забезпечення у військах та кооперативних поставок комплектуючих при виробництві – доцільно в якості базової моделі УР НРК прийняти БТР-4Е.

Концептуальні погляди на шляхи створення УР НРК важкого класу

Як правило, в структурі ЗС України бронетанкові взводи включають мінімум чотири бойових машини з екіпажами. Тому, не змінюючи підходів, до структури та складу взводу НРК пропонується включити чотири рухомих системи УР НРК (рис. 1).

Управління окремою рухомою частиною НРК виконується через ретранслятор із захищених каналів обміну інформацією та зв'язку ПДК – робочих місць операторів і командирів, які знаходяться в машині управління. Ретранслятор може розміщуватись на висувній щоглі машини управління або коптері, який з'єднаний з апаратурою управління кабелем та управляється командиром взводу НРК. Забезпечення рухомих частин боєприпасами та іншими матеріалами виконується

відділенням матеріально-технічного забезпечення, яке підпорядковане командирі взводу.

Робоче місце командира взводу повинне мати систему відображення інформації, систему підтримки прийняття рішень та постановки завдань окремим НРК, а також повинно забезпечувати можливість кругового огляду кожної рухомої системи НРК. Для управління шасі, системами розвідки та вогнем, необхідно мати захищену радіолінію управління між НРК та ПДК, з якої командир та навідник будуть виконувати свої функції.

Робочі місця командирів окремих НРК повинні включати систему відображення інформації, що забезпечує круговий огляд відповідної рухомої частини НРК, систему прийняття рішень, включаючи й рішення щодо переходу в автономний режим повернення у вихідний пункт, а в перспективі і автономний режим виконання бойового завдання в цілому.

Структура ДК рухомої частини НРК наведена на рис. 2. Як видно з цього рисунку, крім ДК, НРК повинен мати систему автономного керування рухомою

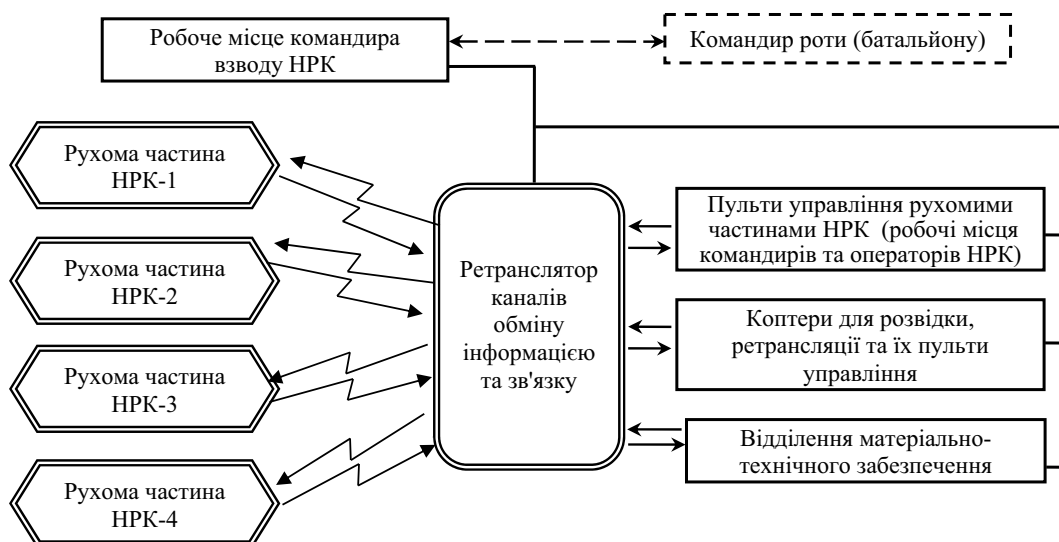


Рис. 1. Структура взводу ударно-розвідувальних НРК важкого класу

частиною НРК відповідно до попередньо заданих програмних завдань в автоматичному режимі.

Як згадувалося вище, в якості базового шасі УР НРК важкого класу вибираємо шасі БТР-4Е. Для перетворення цього шасі в ДК зразок, необхідно насамперед встановити апаратуру дистанційного керування з захищеним зв'язком і обміном інформацією та інші системи, що розглядаються нижче.

СТЗ шасі повинна забезпечувати круговий огляд обстановки вдень, вночі та інфрачервоному діапазоні, а також повинна мати підсистему забезпечення обходу (подолання) перешкод вдень і вночі.

На відміну від штатної системи навігації БТР-4Е, в шасі УР НРК для виконання задач в умовах РЕБ необхідно мати КСН (з супутниковою, інерційною та одометричною системами). Крім того, разом з застосуванням електронних (цифрових) карт місцевості для навігації доцільно використовувати сучасні геоінформаційні системи [13].

Виконавчі механізми керування шасі. В БТР-4Е встановлена автоматична коробка передач на рульове управління, яка дозволяє реалізовувати як режим ДК (навідника-оператора і механіка-водія), так і встановити систему програмного керування, що буде

використовувати інформацію з КСН, наприклад, для повернення НРК у задану географічну точку. Для повернення НРК також можливо використовувати інформацію з системи обминання перешкод. Для дистанційного і програмного управління приводом подачі пального та рулем в шасі НРК на базі БТР-4Е встановлюються відповідні механізми.

Бортова апаратура автономного керування шасі (БААК) по своїй суті є програмно-апаратним комплексом, який реалізує стандартні завдання автономного керування. На першому етапі ці завдання будуть обмежені завданням повернення НРК у задану географічну точку при втраті дистанційної керуваності, або подолання зони "радіотіні". В перспективі НРК повинен виходити в зону виконання бойової задачі автономно, в режимі радіомовчання, з використанням заздалегідь запланованих маршрутів.

Гібридний двигун НРК. На першому етапі створення УР НРК на базі БТР-4Е буде використовуватись штатний двигун БТР, на другому етапі – гібридний двигун, що забезпечуватиме рух НРК на дизельному двигуні до зони бойового застосування, а безпосереднє виконання завдання - з використанням акумуляторів й "безшумних" електроприводів.



Рис. 2. Структура пункту управління рухомим НРК

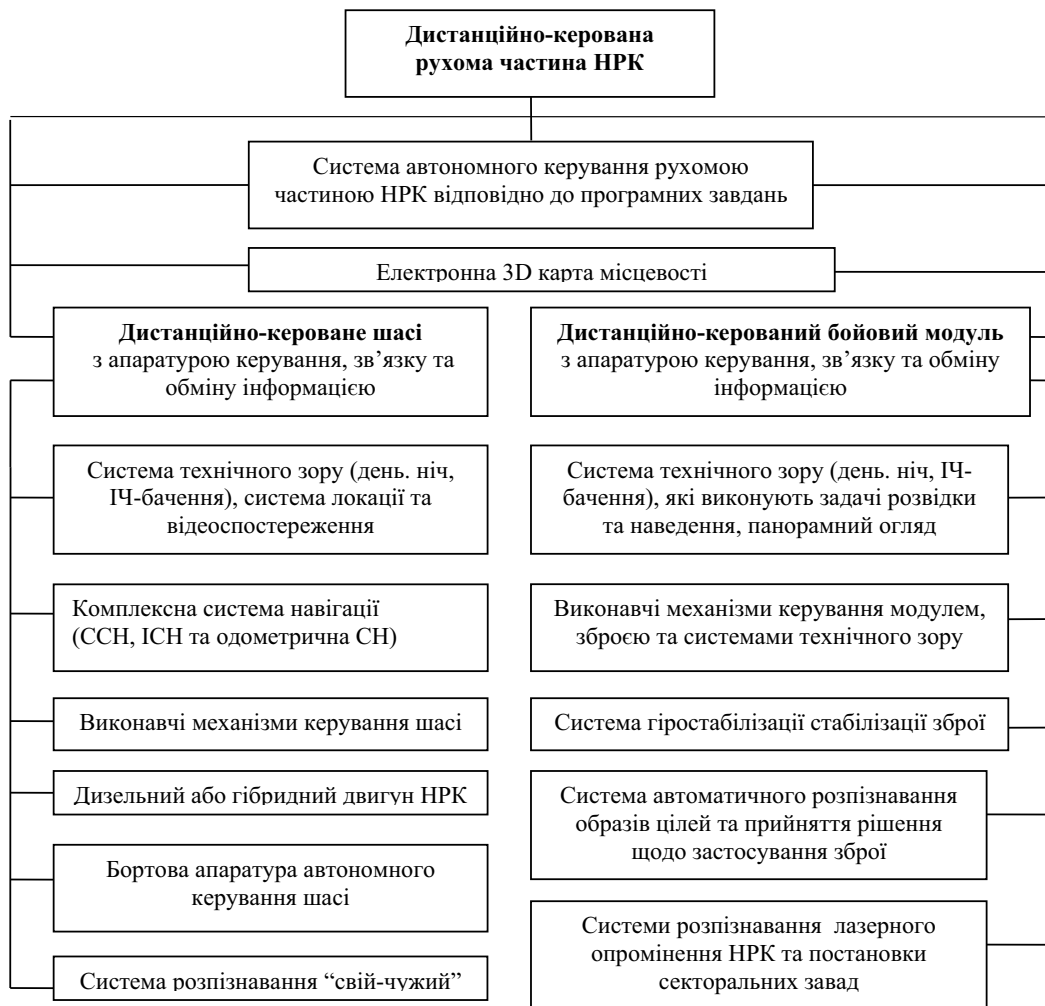


Рис. 3. Структура дистанційно-керованої рухомої частини НРК

Структура ДК бойового модуля (ДКБМ) наведена на рис. 3. В своєму складі ДКБМ має бортову апаратуру ДК, з якою з'єднані захищені канали управління (зв'язку і обміну інформацією) та апаратуру автономного керування модулем відповідно до попередньо заданих програм.

СТЗ ДКБМ повинна забезпечувати розвідку та наведення в заданому секторі вдень, вночі та в інфрачервоному діапазоні випромінювання. Наведення виконує оператор за інформацією з моніторів, при необхідності СТЗ повинна забезпечувати автосупровід цілі.

Виконавчі механізми ДКБМ. Для азимутального наведення та наведення в вертикальній площині і для стабілізації озброєння використовуються електромеханічні приводи.

Система гіростабілізації озброєння ДКБМ. В гіростабілізаторі БТР-4Е використовуються динамічно настроюванні гіроскопи, сигнали з яких подаються на електроприводи наведення через систему управління з зворотним зв'язком. Стабілізація зброї (гармати та спареного з нею кулемета) виконується в горизонтальній та вертикальних площинах.

Система розпізнавання "свій-чужий" використовується для запобігання ведення так званого "дружнього вогню" та розпізнавання ворожих об'єктів. Ця

система включає в себе підсистему, яка ідентифікує ознаку "свій" чи "чужий" та підсистему автовідповідача на запит сусіднього "свого" об'єкту. Крім того, є підсистема розпізнавання опромінення, яка сигналізує про опромінення НРК ворожою лазерною системою та подає сигнал на постановку секторальних завод системою захисту від високоточної зброї противника.

В основу системи автоматичного розпізнавання образів цілей (САРОЦ) покладено програмно-апаратний комплекс з елементами штучного інтелекту для прийняття рішень щодо застосування зброї. Для реалізації САРОЦ необхідно мати бібліотеку образів цілей з різних ракурсів в оптичному діапазоні СТЗ (день, ніч) та інфрачервоному діапазоні. Доцільно, щоб бібліотека образів створювалась апаратурою, сумісною з аналогічною апаратурою СТЗ для забезпечення співставлення образів з бібліотеки з зображеннями з апаратури СТЗ з використанням спеціальних алгоритмів і програм, що дозволить ідентифікувати ціль. Якщо в бойовому завданні буде передбачено знищення цілі, автоматизована система виконуватиме відповідне завдання.

Застосування та режими роботи НРК важкого класу. УР НРК може мати два режими роботи: перший – ДК НРК, другий – автономний або напіваавтономний режим.

Перед застосуванням взводу НРК або окремого НРК, вищим штабом здійснюється планування операції на основі вихідних даних та даних розвідки. В результаті планування в електронну карту вводяться географічні координати цілей та зображення конкретних цілей у відповідних ракурсах, або їх типові образи.

На основі даних розвідки плануються маршрути виходу НРК з вихідного пункту до точки виконання бойової задачі (на підготовлену або непідготовлену позицію в залежності від потреб). Маршрут прокладається на цифровій карті. Планування повернення НРК у вихідну позицію повинно здійснюватись з урахуванням можливості використання декількох альтернативних маршрутів.

Таким чином, для виконання завдань НРК необхідно мати: топогеодезичну прив'язку об'єктів на електронній 3D карті місцевості; координати місця стоянки НРК перед боєм; координати місця прибуття НРК (підготовлена або непідготовлена позиція), з якого буде виконуватись стрільба або дорозвідка цілей; сплановані можливі маршрути руху НРК до заданої позиції та маршрути повернення до вихідної позиції; номенклатуру цілей та їх координати; бібліотеку образів цілей з різних ракурсів.

Режим ДК виконується УР НРК за умови відсутності протидії РЕЗ противника. В основі цього режиму роботи НРК є повне дистанційне управління оператором рухом НРК за командами командира по запланованому маршруту з використанням відеоінформації на моніторі та інформації від КСН. При опроміненні лазером НРК система його захисту від високоточної зброї спрацьовує автоматично.

ДК бойовим модулем практично не відрізняється від управління в штатному режимі БТР-4Е. Потрібно враховувати можливість перехоплення каналу управління противником, для чого оператор-стрілок та командир повинні мати можливість блокування стрільби по своїм об'єктам за допомогою системи "свій-чужий".

При втраті керованості НРК на маршруті через постановку завад каналу радіозв'язку або попадання НРК

в "радіотінь" – спрацьовує система автономного повернення НРК у вихідну позицію, або продовження маршруту до виходу з "радіотіні" за інформацією автономної КСН, тобто напівавтономний режим. В цьому режимі ДК є допоміжним на маршруті, а при виконанні стрільби є основним. В напівавтономному режимі більший час руху НРК відбувається в режимі радіомовчання.

Суть напівавтономного режиму роботи НРК полягає в тому, що:

забезпечення прихованого руху НРК на маршруті до підготовленої позиції в основному визначається автономною ІСН;

характеристики (похибки) ІСН визначаються власними дрейфами, похибками початкової виставки ІСН та якістю калібровки дрейфів як ІСН в цілому, так і її сенсорів (гіроскопів, акселерометрів та ін.);

для коригування випадкових і систематичних похибок використовуються підготовлені в геодезичному відношенні позиції, або геоінформаційні системи, які використовують об'єкти на поверхні Землі з відомими географічними координатами;

на зупинці, при наявній інформації про географічні координати, виконується введення їх в комп'ютер КСН, калібруються систематичні дрейфи ІСН, визначається азимут поздовжньої осі машини;

після виконання згаданих операцій НРК може рухатись в автономному режимі за інформацією з ІСН протягом часу, допоки дрейфи показників ІСН знаходяться в межах допустимих; для уникнення накопиченої похибки на маршруті НРК зупиняється і виконується калібрування дрейфів і уточнюється азимут повздовжньої вісі. При наявності геоінформаційної системи виконується введення географічних координат зупинки (стоянки) НРК;

після прибуття НРК на підготовлену, або непідготовлену позицію бойовий модуль виконує задачі режиму БТР-4Е з використанням системи ДК.

Таблиця 3

Основні завдання та пропонуємий склад апаратури УР НРК

Завдання, які повинен виконувати УР НРК	Склад апаратури та озброєння рухомої частини УР НРК
Група завдань, які повинен виконувати УР НРК з однотипним обладнанням	
1.1. Штурм об'єктів та позицій противника. 1.2. Вогнева підтримка військам в наступі (в бойових порядках безпосередньо). 1.3. Евакуація поранених з поля бою. 1.4. Доставка військовослужбовців та боеприпасів на поле бою. 1.5. Охорона блок-постів та інших важливих об'єктів.	1. Комплексна система навігації, яка забезпечує навігацію в режимі наступу та повернення НРК на вихідну позицію при втраті зв'язку та сигналів GPS. 2. Гармата 30-мм, спарена з кулеметом та гранатомет 3. Бойовий модуль з протикульовим та протиосколковим захистом зброї та апаратури
2. Розвідка місця знаходження позицій та техніки противника	п. 1-3 та висувна щогла або гексакоптер з кабелем та апаратура розвідки
3. Знешкодження наземних цілей з підготовлених позицій на зупинці протягом короткого часу	п. 1-3 та 4 ПТРК
4. Знешкодження малорухомих повітряних цілей типу гелікоптер та БПЛА	п. 1-3 та 4 ПЗРК

Автономний режим роботи НРК полягає в тому, що після прибуття НРК на позицію, зброя наводиться в запрограмовану точку. При отриманні інформації від СТЗ, система штучного інтелекту знаходить запрограмований образ цілі та відповідно до програми автономно приймає рішення щодо застосування зброї.

Склад бойових модулів в залежності від варіантів застосування УР НРК

В залежності від завдань, які повинен виконувати УР НРК, оснащення бойового модулю та ходової системи може відрізнятися. В табл. 3 наведено основні завдання, які повинен виконувати УР НРК і склад обладнання ходової частини та бойового модуля, що забезпечує виконання цих завдань.

Таким чином, запропоновано чотири варіанти спорядження комплексу УР НРК важкого класу:

1. Для ведення бойових дій, які передбачають безпосередній контакт з противником та охороні блок-постів та інших важливих об'єктів УР НРК повинен включати:

КСН для забезпечення навігації в режимах наступу та повернення НРК на вихідну позицію при втраті зв'язку та сигналів GPS (СНС);

гіростабілізовану 30-мм гармату, спарену з кулеметом та гранатомет;

корпус бойового модулю з протикульовим та протиосколковим захистом зброї та апаратури.

2. Для розвідки місця знаходження позицій та техніки противника додається висувна щогла або гексакоптер з кабелем та апаратурою розвідки.

3. Для знешкодження наземних цілей з підготовлених позицій на зупинці протягом короткого часу замість системи розвідки додається 4 ПТУР.

4. Для знешкодження малорухомих повітряних цілей типу гелікоптер або БПЛА замість системи розвідки додається 4 ПЗРК.

Етапи розробки УР НРК на базі БТР-4Е

Комплекс робіт зі створення УР НРК на базі БТР-4Е в Україні має стати пілотним проектом в сфері роботизації бронетехніки, що дозволить забезпечити: виконання розвідувальних і штурмових задач як окремо, так і в бойових порядках військ, охорону об'єктів та супроводження колон, доставку боєприпасів та іншого спорядження в небезпечні зони, вивіз поранених з поля бою. Комплекс цих робіт має виконуватись на основі базової моделі БТР-4Е та включати ряд ДКР та НДР, в яких будуть відпрацьовані тактико-технічні вимоги до НРК різного призначення [14] та основні технічні рішення, від задач ДК до задач створення важких НРК зі штучним інтелектом.

ДКР доцільно виконувати в два етапи:

I етап. В межах виконання ДКР першого етапу УР НРК повинен виконувати наступні функції:

виконання всіх завдань БТР-4Е в "екіпажному" варіанті;

виконання всіх завдань БТР-4Е в режимі ДК рухом, ДК системами вогню та розвідки по захищених каналам зв'язку та обміну інформацією;

захист від високоточної зброї, на основі реєстрації лазерного опромінення НРК та постановці секторальних завад;

впровадження системи розпізнавання "свій-чужий" для запобігання знищенню своїх об'єктів;

автоматичне (автономне) повернення НРК у вихідну позицію за показниками КСН при дії систем РЕБ противника, або при перетині НРК зони "радіотіні".

II етап. В межах виконання ДКР другого етапу НРК в доповнення до функцій першого етапу, повинен виконувати наступні функції:

забезпечувати безшумну роботу в зоні виконання бойової задачі, за рахунок використання трансмісії на основі "мотор-колеса" та компактних акумуляторів великої ємності;

забезпечувати автоматичне розпізнавання образів для ДК шасі на маршруті та для ідентифікації цілей, запрограмованих для знищення, при необхідності забезпечувати автоматичне знищення цілей без втручання оператора;

забезпечувати обмін інформацією між окремими НРК та використання цієї інформації для виконання бойових задач в автономному режимі.

Для успішного проведення ДКР другого етапу, протягом 2 - 3 років необхідно провести прикладну НДР, в межах якої провести теоретичні та експериментальні дослідження, пов'язані з:

створенням і інтеграцією в НРК експериментальних (макетних) зразків електроприводу типу "мотор-колесо" та малогабаритних акумуляторів великої ємності для безшумної роботи НРК в зоні виконання бойового завдання;

дослідженням можливості створення й інтеграції в НРК систем розпізнавання образів маршрутів, включаючи функції геолокації та обминання перешкод, розпізнавання образів, автосупровід цілей та об'єктів противника;

дослідженням можливості створення й інтеграції в НРК систем автономного прийняття рішень відносно відкриття вогню по розпізнаній цілі;

дослідженням можливості виконання функцій управління підрозділом УР НРК з мінімальною участю операторів та забезпечення режимів "робот";

розробкою пропозицій щодо автономної розвідки маршрутів та радіаційно-хімічної обстановки;

дослідженням можливості обміну інформацією між окремими НРК про маршрути та цілі.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. За експертними оцінками, в області розробки та прийняття на озброєння УР НРК Україна відстає від США, Ізраїлю та інших провідних країн світу на 10-15 років, від РФ – на 5-10 років. Тому здійснення вітчизняного технологічного та наукового "прориву" є вкрай необхідним.

2. В світовій практиці переважають два підходи до створення УР НРК важкого класу. Перший з них – НРК створюються шляхом "роботизації" зразків БТО, що перебувають на озброєнні, другий – створення НРК на спеціалізованих шасі.

3. В роботі показано, що самий короткий шлях до створення пілотного зразка УР НРК важкого класу є:

“роботизація” БТР-4Е, забезпечення виконання всіх притаманних йому функцій як в “екіпажному” варіанті, так і в режимі ДК;

установка в НРК КСН і надання йому функції автономного повернення у вихідну позицію за показниками КСН при дії РЕЗ противника, або автономного перетину НРК зони “радіотіні”.

4. Подальший розвиток УР НРК важкого класу пов’язаний з необхідністю постановки пов’язаних НДР та ДКР в результаті виконання яких, крім згаданих вище функцій (п.3) НРК повинен забезпечити:

- безшумну роботу в зоні виконання бойового завдання, за рахунок електроприводу, розробки трансмісії на основі “мотор-колесо” та компактних акумуляторів великої ємності;

- використання засобів штучного інтелекту при розпізнаванні образів для забезпечення автономного керування рухом шасі по запрограмованому маршруту та ідентифікації цілей для знищення їх без участі оператора.

Напрямок подальших досліджень є обґрунтування технічних вимог та показників до окремих систем і основних складових елементів (корпусу, рушія, силової установки, системи технічного зору, засобів комунікації і автономної навігації) базового шасі та спеціального обладнання (комплексу озброєння, маніпуляторів, захватних пристроїв, засобів розмінування, та ін.) НРК важкого класу для потреб Збройних Сил України та інших силових структур і відомств держави.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Интегрирована дорожная карта Пентагона “Беспилотні системи” 2017-2042. – Режим доступа: <https://news.usni.org/2018/08/30/pentagon-unmanned-systems-integrated-roadmap-2017-2042>.
2. Александров В., Ветлугин Р., Макаренко А. Взгляды военных специалистов США на боевое применение наземных робототехнических комплексов. Зарубежное военное обозрение, 2018. №6. С. 39-43.
3. Рудианов Н. А., Хрущев В. С., Рябов А. В. Автономные робототехнические комплексы в системе вооружения Сухопутных войск // Ракетно-техническое и артиллерийско-техническое обеспечение Вооруженных Сил РФ, 2018. С. 49-51. – Режим доступа: <https://grau.informost.ru/2018/pdf/part1/15.pdf>.
4. Игнатов А. В., Богомолов С. Н., Федянин Н. Д. К вопросу о развитии боевых наземных робототехнических комплексов. Технология производства систем и комплексов. Известия ТулГУ. Технические науки, 2018. Вып. 11. С. 353–358.
5. Рябов К. Кто будет доминировать в области наземных боевых роботов? Технологии. Военное обозрение. 17 августа 2018. – Режим доступа: <https://topwar.ru/145686-the-national-interest-kto-budet-dominirovat-v-oblasti-nazemnyh-boevyh-robotov.html>.
6. Боевой робот «Уран-9» поступил на вооружение российской армии. 25.01.2019. – Режим доступа: https://vpk.name/news/241864_boevoi_robot_uran9_postupil_na_vooruzhenie_rossiiskoi_armii.html.

7. Двенадцатитонный боевой робот-убийца танков “Уран-9” принят на вооружение армии России. 24.01.2019. – Режим доступа: https://m.tsargrad.tv/news/boevoj-robot-ubijca-tankov-uran-9-prinjat-na-vooruzhenie-armii-rossii_180486.
8. Бараш Ю. Боевые роботы – до них еще далеко? Часть 1. Аналитические разработки. Вызовы и риски. 1 октября 2018. Обзор по безопасности ЦИАКР. № 18 (105). С. 34–56.
9. Бараш Ю. Боевые роботы России – на подходе? Вызовы и риски. Обзор по безопасности ЦИАКР. 1 марта 2016. С. 29-51.
10. Современные военные роботы: боевые системы будущего. – Режим доступа: <https://militaryarms.ru/voennaya-texnika/boevye-mashiny/voennye-boevye-roboty>.
11. Русинов В. Состояние и планы развития наземных робототехнических комплексов США. Зарубежное военное обозрение, 2013. № 3. С. 44-56.
12. «Уран-9» и ARCV «Black Knight»: концептуальные различия в создании беспилотных роботов. 14 мая 2017. – Режим доступа: <https://mil.wms.kg/?p=2300>.
13. Мельник А. О., Мороз І. В., Варварук С. Я. Алгоритм опису контурів об’єктів за бінарними зображеннями та його реалізація. Науковий вісн. Чернівецького НУ ім. Ю. Федьковича. Серія «Комп’ютерні системи та компоненти». Т. 4. Вип. 1. Чернівці, 2013. С. 6-11.
14. Гусяков О. М. Методика комплексного обґрунтування вимог до робототехнічного комплексу розмінування. Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС ім. І.М. Кожедуба, 2018. № 2(54). С. 77-82.

REFERENCES

1. Pentagon Integrated Unmanned Systems Roadmap 2017-2042, available at: <https://news.usni.org/2018/08/30/pentagon-unmanned-systems-integrated-roadmap-2017-2042> (accessed 10 May 2019).
2. Aleksandrov, V., Vetlugin, R. and Makarenko, A. (2018), “Vzglyady voennyih spetsialistov SShA na boevoe primeneniye nazemnyih robototekhnicheskikh kompleksov” [The views of US military experts on the combat use of ground-based robotic systems], *Foreign Military Review* No.6/2018. Pp. 39-43.
3. Rudianov, N. A., Hrushev, V. S. and Ryabov, A. V. (2018), “Avtonomnyie robototekhnicheskie komplekseyi v sisteme vooruzheniya Suhoputnyih voysk” [Autonomous robotic systems in the weapons system of the Ground Forces], *Missile-technical and artillery-technical support of the Armed Forces of the Russian Federation*, pp. 49-51, available at: <https://grau.informost.ru/2018/pdf/part1/15.pdf> (accessed 10 May 2019).
4. Ignatov, A. V., Bogomolov, S. N. and Fedyanin, N. D. (2018), “K voprosu o razvitii boevyih nazemnyih robototekhnicheskikh kompleksov. Tehnologiya proizvodstva sistem i kompleksov” [To the question of the development of combat ground-based robotic systems. Technology for the production of systems and

- complexes], *Izvestiya TulGU. Technical science*. 2018. Iss. 11. Pp. 353–358.
5. Ryabov, K. (2018), “Kto budet dominirovat v oblasti nazemnyih boevyih robotov?” [Who will dominate the field of ground combat robots?], *Technology. Military Review*. August 17, 2018, available at: <https://topwar.ru/145686-the-national-interest-kto-budet-dominirovat-v-oblasti-nazemnyh-boevyih-robotov.html> (accessed 10 May 2019).
 6. “Boevoy robot “Uran-9” postupil na vooruzhenie rossiyskoy armii 25.01.2019” [The combat robot «Uranus-9» entered service with the Russian army. 01/25/2019], available at: https://vpk.name/news/241864_boevoi_robot_uran9_postupil_na_vooruzhenie_rossiiskoi_armii.html (accessed 10 May 2019).
 7. “Dvenadtsatitonnnyiy boevoy robot-ubiytsa tankov “Uran-9” prinyat na vooruzhenie armii Rossii. 24 01.2019” [The twelve-ton combat robot-killer of the Uran-9 tanks has been adopted by the Russian army], available at: https://m.tsargrad.tv/news/boevoy-robot-ubijca-tankov-uran-9-prinyat-na-vooruzhenie-armii-rossii_180486 (accessed 10 May 2019).
 8. Barash, Yu. (2018), “Boevyie roboty – do nih esche daleko? Chast 1” [Are combat robots still a long way to go? Part 1], *Analytical development. Challenges and risks*. October 1, 2018. *TsIAKR Security Review*. No. 18 (105). Pp. 34–56.
 9. Barash, Yu. (2016), “Boevyie roboty Rossii - na podhode?” [Russian combat robots on the way?], *Challenges and risks. CVAC Safety Review*. March 1, 2016. Pp. 29-51.
 10. “Sovremennyye voennyye roboty: boevyie sistemy buduschego” [Modern military robots: combat systems of the future], available at: <https://militaryarms.ru/voennaya-texnika/boevye-mashiny/voennye-boevye-roboty> (accessed 10 May 2019).
 11. Rusinov, V. (2013), “Sostoyanie i plany razvitiya nazemnyih robototekhnicheskikh kompleksov SShA” [Status and development plans of ground-based robotic systems in the United States], *Foreign Military Review*, 2013. No. 3. Pp. 44-56.
 12. “«Uran-9» i ARCV «Black Knight»: kontseptualnyie razlichiya v sozdaniy bespilotnyih robotov. 14 maya 2017” [“Uranus-9” and ARCV “Black Knight”: conceptual differences in the creation of unmanned robots. May 14, 2017], available at: <https://mil.wms.kg/?p=2300> (accessed 10 May 2019).
 13. Melnik, A. O., Moroz, I. V. and Varvaruk, E. Y. (2013), “Alhorytm Opysu konturiv obektiv za binarnymy zobrazhenniyami ta yoho realizatsiia” [An algorithm for describing the contours of objects by binary images and its implementation], *Scientific Bull. of Chernivtsi Nat. Univ. n. a. Yu. Fedkovich. Computer Systems and Components*. Vol. 4. Iss. 1. Chernivtsi, 2013. Pp. 6-11.
 14. Husliakov, O. M. (2018), “Metodyka kompleksnoho obruntuvannia vymoh do robototekhnichnoho kompleksu rozminuvannia” [Methodology for complex justification of requirements for robotic mine clearance complex], *Weapons systems and military equipment*. X.: HUPS n. a. I. M. Kozhedub, 2018. No. 2 (54). Pp. 77-82.
- Відомості про авторів:**
- Чепков Ігор Борисович**
доктор технічних наук, професор
начальник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>
e-mail: chepkov@gmail.com
- Довгополий Анатолій Степанович**
доктор технічних наук, професор
головний науковий співробітник
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9227-9771>
e-mail: anatoliy.do@gmail.com
- Гусяков Олег Михайлович**
кандидат технічних наук,
Начальник науково-дослідної лабораторії
Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3893-9465>
e-mail: husliakov@gmail.com
- Information about the authors:**
- Ihor Chepkov**
Doctor of Technical Sciences, Professor
Chief of Central scientific research institute of armament and military equipment of the Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>
e-mail: chepkov@gmail.com
- Anatolii Dvhopolyi**
Doctor of Technical Sciences, Professor
Lead Researcher
Central scientific research institute of armament and military equipment of the Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9227-9771>
e-mail: anatoliy.do@gmail.com
- Oleh Husliakov**
Chief of Research Laboratory
Central scientific research institute of armament and military equipment of the Armed Forces of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3893-9465>
e-mail: husliakov@gmail.com
- Стаття надійшла до редколегії 18.07.2019 р.
- Рецензент М. І. Васьківський**, д-р техн. наук,
професор (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-2430-8478>
- Рецензент М. О. Шишанов**, д-р техн. наук, професор
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-7121-3666>

УДК 004.8

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3\(23\).26-39](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3(23).26-39)

Б. О. ДЕМІДОВ, доктор технічних наук, професор
(Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків)

<https://orcid.org/0000-0003-1728-6925>

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

<https://orcid.org/0000-0002-1919-8526>

О. Ф. ВЕЛИЧКО

(Апарат Ради національної безпеки і оборони України, м. Київ)

<https://orcid.org/0000-0002-7631-6584>

Д. А. ГРИБ, кандидат військових наук, доцент,
головний науковий співробітник,

<https://orcid.org/0000-0001-8478-978X>

О. О. ХМЕЛЕВСЬКА, кандидат технічних наук,
провідний науковий співробітник,

<https://orcid.org/0000-0001-9018-5552>

(Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків)

Проблематика теорії і практики управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення в умовах обстановки, що динамічно змінюється в районі бойових дій

У статті розглядаються проблемні системно-концептуальні аспекти планування і ведення об'єднаних (міжвидових) операцій у групуваннями збройних сил і оперативного управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення в умовах динамічної зміни оперативно-стратегічної і оперативно-тактичної обстановки на театрі військових дій (в районі бойових дій).

Виділяються основні елементи, проблеми і напрямки діяльності інноваційного характеру, що охоплюються проблематикою теорії і практики управління складними багатоструктурними системами військового призначення. Аналізуються фактори, що обумовлюють необхідність розвитку теорії і практики управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення. Серед проблем, що пов'язані з цим управлінням, виділяються такі актуальні проблеми, як: забезпечення ефективного управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення в умовах динамічної зміни обстановки на полі бою в умовах активного антагоністичного протистояння противника; автоматизації та інформатизації оперативного управління операціями (що виконуються групуваннями збройних сил в умовах динамічної зміни оперативно-стратегічної (оперативно-тактичної) обстановки на театрі воєнних дій (в районі бойових дій)); інші проблеми, від якості результатів і повноти вирішення яких, зазвичай, буде залежати практична реалізація ефективного управління операціями (бойовими діями) об'єднаних (міжвидових) групувань збройних сил у динаміці ведення збройної боротьби з групуваннями військ противника.

Значна увага приділяється науково-методичним питанням дослідження процесів управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення і створення інтегрованої системи підтримки прийняття управлінських рішень, а також адаптивної трансформації організаційної структури даних систем до умов динамічної зміни обстановки в районі ведення бойових дій.

Ключові слова: автоматизація, адаптація, інформатизація, моніторинг стану, оперативно-стратегічна (оперативно тактична) обстановка, структурна динаміка, управління структурною динамікою, інформаційне домінування.

В статье рассматриваются проблемные системно-концептуальные аспекты, основные положения и элементы теории и практики планирования и ведения объединенных (межвидовых) операций (боевых действий) группировками вооруженных сил, оперативного управления ими и структурной динамикой сложных многоструктурных систем военного назначения при динамическом изменении оперативно-стратегической (оперативно-тактической) обстановки на театре военных действий (в районе боевых действий).

Вводятся новые термины и определения, выделяются основные элементы, проблемы и направления деятельности инновационного характера, охватываемые современной проблематикой теории и практики динамично устойчивого адаптивного управления сложными многоструктурными системами военного назначения. Анализируются факторы, обуславливающие необходимость развития теории и практики управления структурной динамикой сложных систем. Среди проблем, связанных с этим управлением, выделяются такие актуальные проблемы, как ключевая проблема обеспечения эффективного управления структурной динамикой сложных многоструктурных конфликтно-устойчивых систем военного назначения при динамическом изменении обстановки на поле боя в условиях активного антагонистичного противодействия противника, проблема автоматизации и информатизации оперативного управления операциями, выполняемыми группировками вооруженных сил в условиях динамического изменения оперативно-стратегической (оперативно-тактической) обстановки на ТВД (в районе боевых действий), и ряд других проблем, от качества результатов и полноты разрешения проблемных вопросов которых в значительной степени будет зависеть практическая реализуемость эффективного управления операциями (боевыми действиями) объединенных (межвидовых) группировок вооруженных сил государства в динамике ведения вооруженной борьбы с противостоящими группировками противника.

Значительное внимание уделяется научно-методическим вопросам исследования процессов управления структурной динамикой сложных систем военного назначения и создания интегрированной системы поддержки принятия управленческих решений, а также адаптивной трансформации организационной структуры многоструктурных систем применительно к условиям динамического изменения обстановки в районе ведения боевых действий.

Ключевые слова: структурная динамика, управление структурной динамикой, автоматизация, информатизация, адаптация, мониторинг состояния, оперативно-стратегическая (оперативно-тактическая) обстановка.

ВСТУП

Тенденції змін форм, способів, технологій і моделей ведення збройної боротьби та відповідних напрямків діяльності в оборонній сфері в цілому свідчать про те, що майбутні збройні конфлікти і війни будуть більш швидкоплинними, а операції (бойові дії) набудуть більш динамічного характеру [1-7].

Комплексний характер бойових дій та активне впровадження нових інформаційних технологій в управлінській процесі надають нові властивості веденню збройної боротьби, що спонукає відхід від класичного розуміння розмежування між рівнями стратегічного, оперативного і тактичного управління [4].

Високий рівень результативності операцій (бойових дій) буде досягатися, перш за все, за рахунок:

випередження противника у циклі розвідки;
адекватності розвіданої обстановки реальному стану бойового простору;

проведення масованих інформаційних операцій із застосуванням інформаційно-ударних засобів для знищення об'єктів критичної інфраструктури;

ударів високоточної зброї;

формування потужної системи інформаційно-комунікаційних мереж управління, що функціонують у реальному масштабі часу або наближується до нього, тощо.

Принципово важливим стає положення про те, що управління в умовах активного антагоністичного

протиборства сторін конфлікту, для забезпечення потрібної ефективності й досягнення мети ведення операції (бойових дій) має бути більш конфліктно-стійким. Управління угрупованнями збройних сил має сприяти випередженню противника у циклі управління операціями (бойовими діями) за рахунок інформаційного домінування над противником, більш динамічного просторового, часового та кількісного маневрування силами і засобами, у відповідності до змін оперативно-стратегічної (ОСО) і оперативно-тактичної обстановки (ОТО) на театрі воєнних дій (ТВД).

Високий рівень інформаційного забезпечення дій військ (сил) у операціях (бойових діях) стає визначальним фактором досягнення стратегічної, оперативної й тактичної переваги над противником [7, 8].

У концепції інформаційного протиборства особлива роль буде відводитись технічній розвідці, радіоелектронній боротьбі, операціям у кібернетичному просторі та забезпеченню інформаційної безпеки в цілому.

Методи, засоби і технології управління інформаційним протиборством, що зорієнтовані на досягнення відповідної переваги над противником, мають бути раціонально розосереджені у загальному процесі управління бойовими діями, органічно входять у цикли і контури управління інформаційними потоками, розосереджені інформаційні ресурси між рівнями управління та у кожному рівні для забезпечення підвищення конфліктно-стійкості управління військами (силами) й зброєю, утримувати ініціативу домінування у всьому операційному середовищі.

Створення конфліктно-стійких систем управління в умовах розвинутих технологій інформаційного протиборства, досягнення інформаційно-технологічного домінування над противником відноситься до пріоритетних напрямків діяльності державних і військових органів управління.

У загальному випадку спрямованість і зміст дій у збройному протиборстві, а також організаційні структури та склад мають бути керовано-змінними відповідно до поточних змін ОСО (ОТО), змісту поставлених задач, необхідності випередження противника в своїх діях.

Цілеспрямоване реформування збройних сил у провідних країнах світу здійснюється відповідно з принципом об'єднаності, що дозволяє формувати більш гнучкі і мобільні угруповання військ (сил), що використовують сучасні інформаційні системи і системи зв'язку, вдосконалені засоби розвідки і високоточної зброї, які здатні забезпечувати перевагу над противником при проведенні операцій (бойових дій) у складних умовах.

Поняття «об'єднаності» стосовно до об'єданого оперативного формування може бути викладене як формування таких угруповань збройних сил, в яких беруть участь основні групи з двох і більше видів збройних сил [4-6], тобто концепцією побудови оперативного формування сили мають формуватися в основному з контингентів військ (сил) усіх видів збройних сил.

Відтак функція групового управління військовими формуваннями у складі об'єданого (міжвидового) угруповання збройних сил передбачає:

побудову інформаційно-комунікаційного простору, що охоплює усі ланки управління;

гнучке формування розподілених груп управління у залежності від характеру поставлених задач та функціонального складу;

організацію взаємодії особового складу органів управління через загальний мережевий інформаційний ресурс;

спільне оцінювання обстановки і забезпечення її єдиного сприйняття через управління процесами аналізу даних від різних джерел, узагальнення і синтезу інформації;

прийняття узгодженого на множині ланок управління рішення на ведення бойових дій;

розробку і доведення планів операцій, оперативних директив і наказів у синтезованому цифровому вигляді; синхронізацію дій військ (сил) у часі, просторі за задачами таким чином, щоб при наявних обмежених ресурсах досягти максимум бойових можливостей у вирішальному місті й у потрібний час;

надання особливої значущості (у процесі прийняття рішення) таким якостям, як професійність та інтелект командування й особового складу органів управління;

централізований контроль і розподіл мережевого ресурсу, тощо.

Зростання темпів впровадження цих положень пов'язано із зростанням вимог до мережевого розвідувально-інформаційного забезпечення для ведення бойових операцій. При цьому має реалізовуватись не тільки процес оснащення бойових і забезпечуючих формувань новітніми інтелектуальними системами, а й мають бути відібрані та втілені окремі елементи із складу довгострокових програм розвитку системи зв'язку й інформаційного забезпечення.

Мета – випередження противника в оснащенні своїх військ (сил) сучасними засобами оборони і збройної боротьби в цілому, отримання під час навчань досвіду застосування новітніх інноваційних інформаційних технологій в умовах, наближених до бойових, оптимізації темпів розвитку і модернізації всієї системи розвідувально-інформаційно-навігаційного забезпечення збройних сил як єдиного цілого, а у перспективі надання угрупованням військ (сил) на ТВД властивості єдиного (а у масштабі усіх збройних сил глобального) розвідувально-ударного комплексу. Будь-які джерела інформації, системи озброєння видів збройних сил і система управління повинні з'єднуватись між собою локальними, територіальними і глобальними системами зв'язку наземного, морського, повітряного і космічного базування, що мають високу мобільність, швидкість розгортання і пропускну здатність.

У зв'язку із зростанням інтенсивності кібератак дуже важливим стає постійне вдосконалення засобів захисту від них мереж зв'язку і програмного забезпечення.

Сучасні системи військового призначення (ВП) (організаційні, організаційно-технічні й технічні) є складними багатоструктурними системами (СБСС) (наприклад, така система, як автоматизована система управління авіацією та протиповітряною обороною).

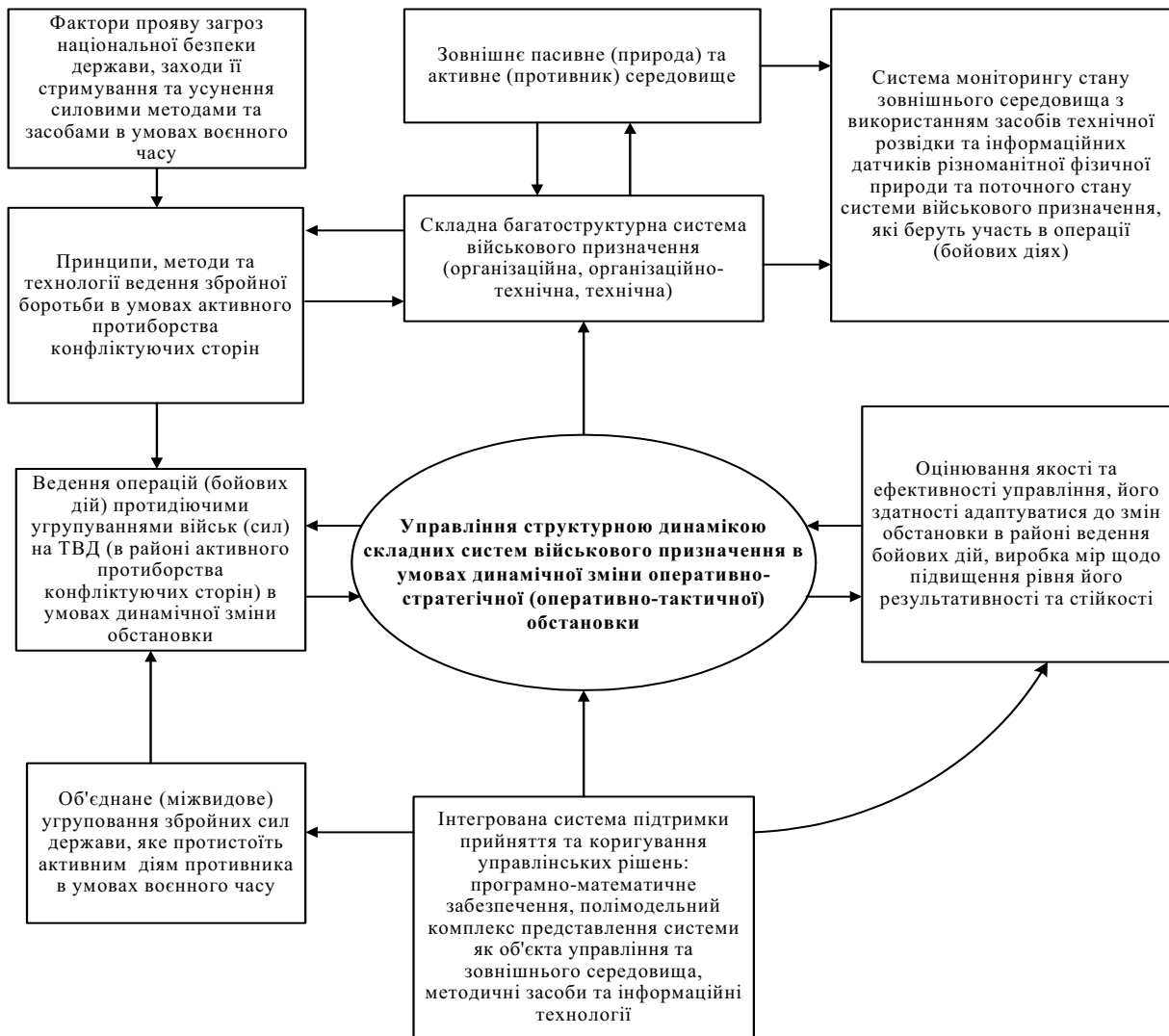


Рис. 1. Місце та роль управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення у сучасних та майбутніх збройних конфліктах та війнах

Функціонування таких систем відбувається у зовнішньому середовищі, яке може надавати суттєвий вплив на їх функціональні можливості з виконання свого цільового призначення. У таких умовах для збереження (підвищення) ефективності цільового функціонування систем (виконання поставлених задач у відповідності до цільових функцій призначення систем) необхідно здійснювати управління їх станами і структурами, на які негативно впливають як зовнішні (природного характеру і активної протидії з боку противника), так і внутрішні дестабілізуючі фактори. Тому системи мають управлятися адаптивно, тобто бути здатними змінювати свій стан і структуру в умовах цілеспрямованого управляючого впливу обстановки проведення операції (бойових дій) (рис. 1).

Управління структурною динамікою (СД) складних систем ВП може бути реальною основою підтримання їх конфліктно-стійкого стану під час ведення бойових дій угрупованнями збройних сил з використанням сучасних автоматизованих інформаційно-управляючих технологій. Таке управління буде відповідати більш швидкій і адекватній адаптації до поточної обстановки

угруповань військ (сил), взаємно погодженому (скоординованому), своєчасному, конфліктно-стійкому і функціонально-сумісному об'єднанню їх дії під час раціонального сполучення принципів централізації і децентралізації у циклі управління.

При цьому стійкість управління буде проявлятися у здатності підтримувати потрібну ефективність функціонування СБСС ВП в широкому діапазоні поставлених задач, ситуацій і умов оперативно-стратегічної (оперативно-тактичної) обстановки на ТВД (у районі бойових дій).

В області управління СД складних систем ВП важливим є втілення технології автоматизації процесів моніторингу їх стану і стану зовнішнього середовища під час ведення операцій (бойових дій) [9].

Моніторинг має розглядатися як процес отримання та інтеграції усіх видів вимірювань об'єктивної інформації (розвідданих, телеметричної інформації, командно-програмної тощо) в автоматизованому або автоматичному режимі роботи (рис. 2). Система моніторингу має бути перш за все спрямована на підвищення якості й ефективності реалізації прийнятих управлінських рішень.

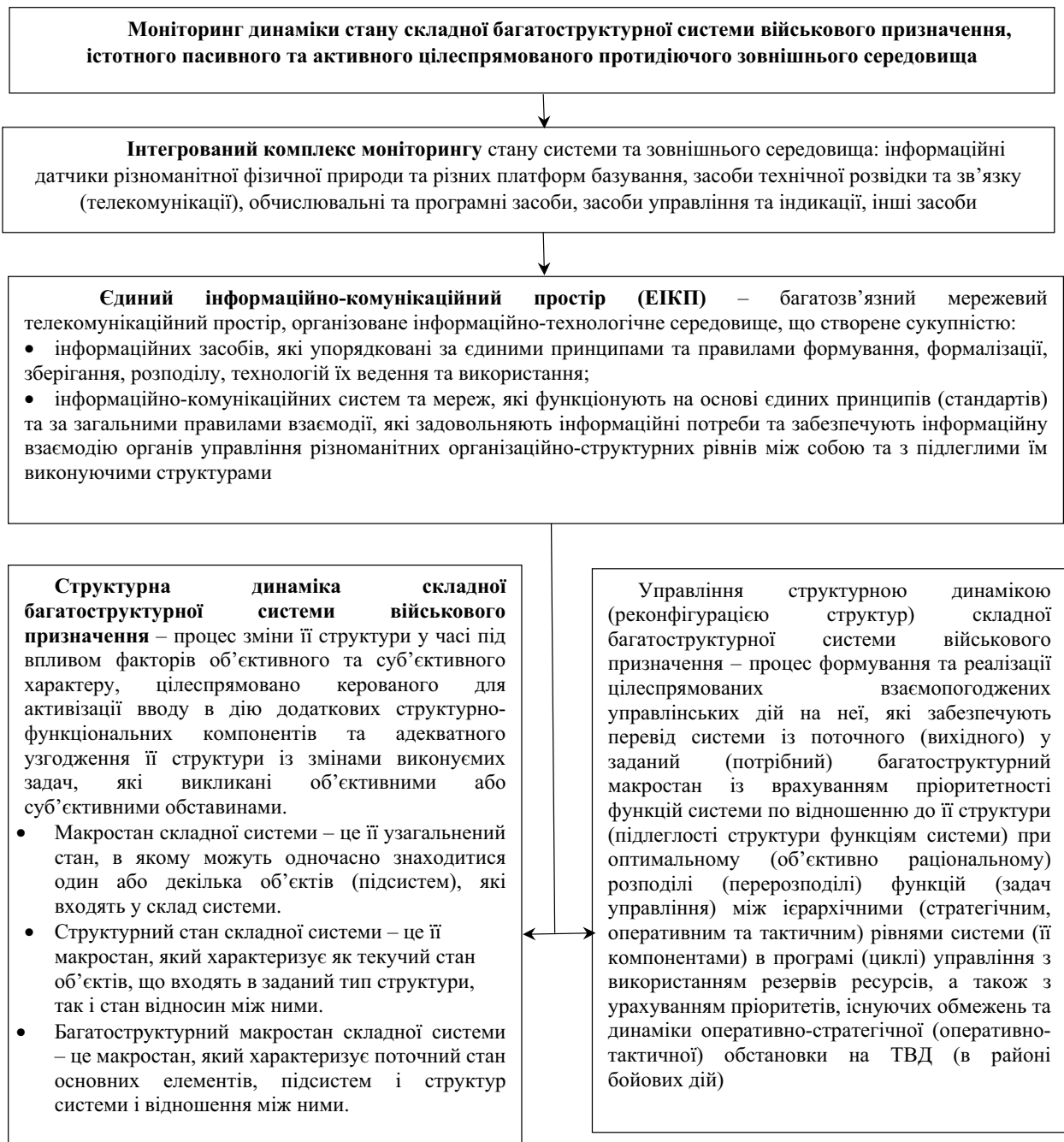


Рис. 2. Комплексні моніторингові заходи та засоби, інформаційно-управлінські дії при управлінні структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення у динамічно змінній оперативно-стратегічній (оперативно-тактичній) обстановці на ТВД (в районі бойових дій)

Зміни структури системи можуть бути представлені як її структурна динаміка, тобто як процес зміни структури у часі під впливом факторів різного характеру. При цьому під управлінням структурною динамікою має розумітися процес формування і реалізації цілеспрямованих управлінських впливів на систему, що забезпечують її переведення з поточного (вихідного) у заданий (потрібний) структурний макростан із дотриманням принципу пріоритетності функцій системи у відношенні до її структури (рис. 3) [13].

Управління СД складних систем ВП, що приймають участь в операціях (бойових діях), може мати вирішальну

роль у забезпеченні їх конфліктної стійкості. Тому вельми актуальною постає проблема розвитку теорії і практики управління СД СБСС ВП в умовах активного і динамічного протистояння конфліктуючих сторін.

Метою статті є надати системно-концептуальне представлення у розширених науково-методичних рамках проблематики теорії й практики ефективного управління СД СБСС ВП з урахуванням елементів інноваційного характеру, а також з єдиних системно-концептуальних позицій викласти методичні основи забезпечення прийняття і реалізації відповідних управлінських рішень.

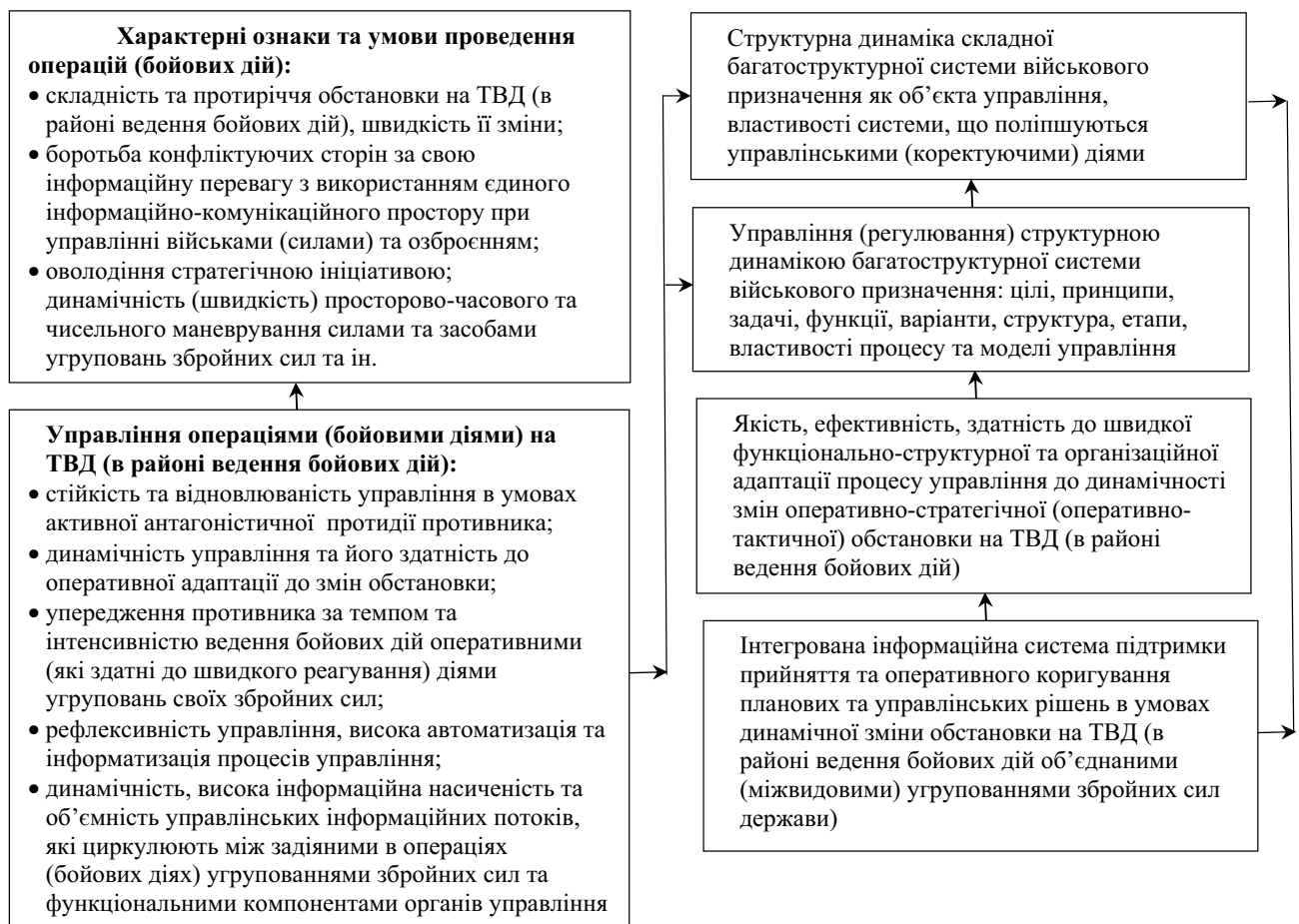


Рис.3. Управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення при веденні операції (бойових дій) угрупованнями збройних сил під час протистояння конфлікуючих сторін в умовах воєнного часу

Проблемні системно-концептуальні аспекти управління СД СБСС ВП охоплюють у своїй сукупності множини взаємопов'язаних питань, які відносяться як до області планування (підготовки) операцій (бойових дій), так і до області безпосереднього управління збройною боротьбою, у якій приймають участь угруповання збройних сил сторін протистояння. На ці питання до теперішнього часу не отримані достатньо повні науково обгрунтовані і практично підтвердженні відповіді, зокрема для умов ОСО (ОТО) на ТВД (в районі бойових дій), що динамічно змінюється та інтенсивного інформаційного та активного бойового протистояння сторін конфлікту.

Це обумовлюється тим, що управління СБСС ВП в зазначених умовах наштовхується на низку серйозних труднощів теоретичного і практичного характеру.

По-перше, управлінські рішення необхідно приймати в умовах невизначеності (знань про зовнішню обстановку, дії реального противника тощо), нечіткості даних про об'єкти управління, розмитості і швидкої зміни цільових установок.

По-друге, зовнішнє середовище для цих систем більшою мірою набуває властивості нестабільності і невизначеності. Нестабільність проявляється у тому, що інтенсивність вимірювань як природно, так і штучно сформованого характеру за участю противника у

зовнішньому середовищі зростає, а невизначеність проявляється у тому, що все частіше виникають нові ситуації, які раніше не проявлялися і відповідно складно прогнозовані.

По-третє, в основному відсутні адекватні моделі таких систем, що дозволяють однозначно визначити (представити у чіткій формі) механізм управління.

По-четверте, інформація, що необхідна для відпрацювання і реалізації адекватних управлінських рішень, як за правило, є розосередженою територіально, зберігається у різних формах, обробляється за різними правилами. Це обумовлює необхідність розробки нового концептуального підходу до організації управлінської діяльності, механізму вибору і реалізації управлінських рішень стосовно до СБСС ВП із СД, та адаптованих до поточної обстановки в районі бойових дій.

Головна складність і особливість вирішення задач управління СД вказаних систем полягає у тому, що визначення оптимальних програм і механізмів управління у даному випадку може бути здійснено лише після того, як буде відомий перелік функцій і алгоритмів обробки інформації та управління, який необхідно буде реалізувати, щоб управління було адекватним динамічним процесам і ситуаціям, що мають місце в районі бойових дій. У свою чергу, розподіл функцій і алгоритмів

Інтегрована система підтримки прийняття рішень (ІСППР) в задачах планування об'єднаних операцій угруповань Збройних Сил та оперативного управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення в умовах динамічної зміни оперативно-стратегічної (оперативно-тактичної) обстановки та ТВД (в районі бойових дій)

<p>Вимоги, які висуваються до ІСППР</p> <p>Загальні вимоги: обґрунтованість рішень, що приймаються із використанням ІСППР; забезпечення гармонійної взаємодії ОПР із обчислюваним середовищем; забезпечення відкритості ІСППР та її здатності до адаптації, самоорганізації та розвитку; забезпечення своєчасного вироблення управляючих дій; забезпечення потрібного ступеню адекватності моделювання системи управління.</p> <p>Вимоги до основних елементів та підсистем ІСППР:</p> <ul style="list-style-type: none"> • простота та оптимальність побудови кожної моделі та комплексу моделей, які входять до ІСППР; • забезпечення ефективної машинної реалізації комплексу моделей; • можливість моделювання із різними масштабами часу; • універсальність та проблемна орієнтація СПМЗ ІСППР; • уніфікація та стандартизація СПМЗ ІСППР (використання стандартних текстів прикладних програм, мов моделювання і ін.); • поєднання формальних та неформальних процедур при проведенні моделювання; • простота та доступність; • надійність функціонування СПМЗ ІСППР (алгоритмічна, програмна, інформаційна) 	<p align="center">Спеціальне програмно-математичне забезпечення підтримки прийняття рішень (СПМЗ ППР) по управлінню структурною динамікою (УСД) систем військового призначення.</p> <p>Моделі, методи, алгоритми і програми, які входять у склад СПМЗ ППР, сукупність технологій системного моделювання та інтелектуальних інформаційних технологій, включаючи:</p> <ul style="list-style-type: none"> • технології експертних систем або систем, які збудовані на знаннях; • технології нечіткої логіки; • технології штучних нейронних мереж; • технології виводу, які ґрунтуються на прецедентах; • технології природньо-язикових систем та онтологій; • технології асоціативної пам'яті; • когнітивні технології; • технології еволюційного моделювання; • гібридні інтелектуальні технології. <p>Узгоджене застосування аналітичних та імітаційних моделей, що адаптуються параметрично та структурно до програм та процесів управління структурною динамікою систем військового призначення</p>	<p>Моделі в задачах планування та управління структурною динамікою систем військового призначення:</p> <ul style="list-style-type: none"> • моделі управління рухом мобільних об'єктів із різноманітним ступенем маневреності та швидкістю переміщення, які входять до складу систем; • моделі управління операціями (діями); • моделі управління каналами зв'язку (комунікації); • моделі управління ресурсами; • моделі управління потоками даних; • моделі управління параметрами операції; • моделі управління структурами систем та їх підсистем; • моделі управління допоміжними (забезпечуючими) операціями; • моделі управління спеціальними операціями; • моделі функціонування системи управління; • моделі впливу зовнішнього середовища; • моделі оцінювання та аналізу ситуацій та обстановки; • моделі оперативного управління елементами та підсистемами системи; • моделі довгострокового та оперативного планування операцій взаємодії; • моделі координації оперативного управління; • полімоделний комплекс у складі ІСППР
---	---	--

Рис. 4. Системно-концептуальні аспекти підтримки прийняття рішень в задачах планування об'єднаних операцій збройних сил та оперативного управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення

за компонентами систем буде залежати від структури і параметрів механізмів управління цими компонентами.

Розв'язання цієї неоднозначної ситуації ускладнюється ще й тим, що під впливом різних причин об'єктивного і суб'єктивного характеру будуть змінюватись у часі склад і структура систем. Крім того, процеси управління СД мають реалізовуватись в умовах прояву факторів ризику і факторів, що принципово не можуть бути повністю усунуті, інформаційних і часових обмежень, що пов'язані з неповнотою, невизначеністю, нечіткістю і суперечністю як вихідних даних, так

і інформації, яка буде отримуватись від засобів технічної розвідки під час проведення операції (бойових дій).

Аналіз можливих варіантів управління функціонуванням СБСС ВП в різних умовах ОТО в районі бойових дій свідчить про те, що у загальному випадку під час управління СД вказаних систем необхідно вирішувати не одну проблему, а цілу сукупність складних взаємопов'язаних проблем і задач, для яких використання тільки традиційних методів стає вже недостатньо ефективним. Для цього потрібний суттєво оновлений науково-методичний апарат. Заслужує особливої уваги

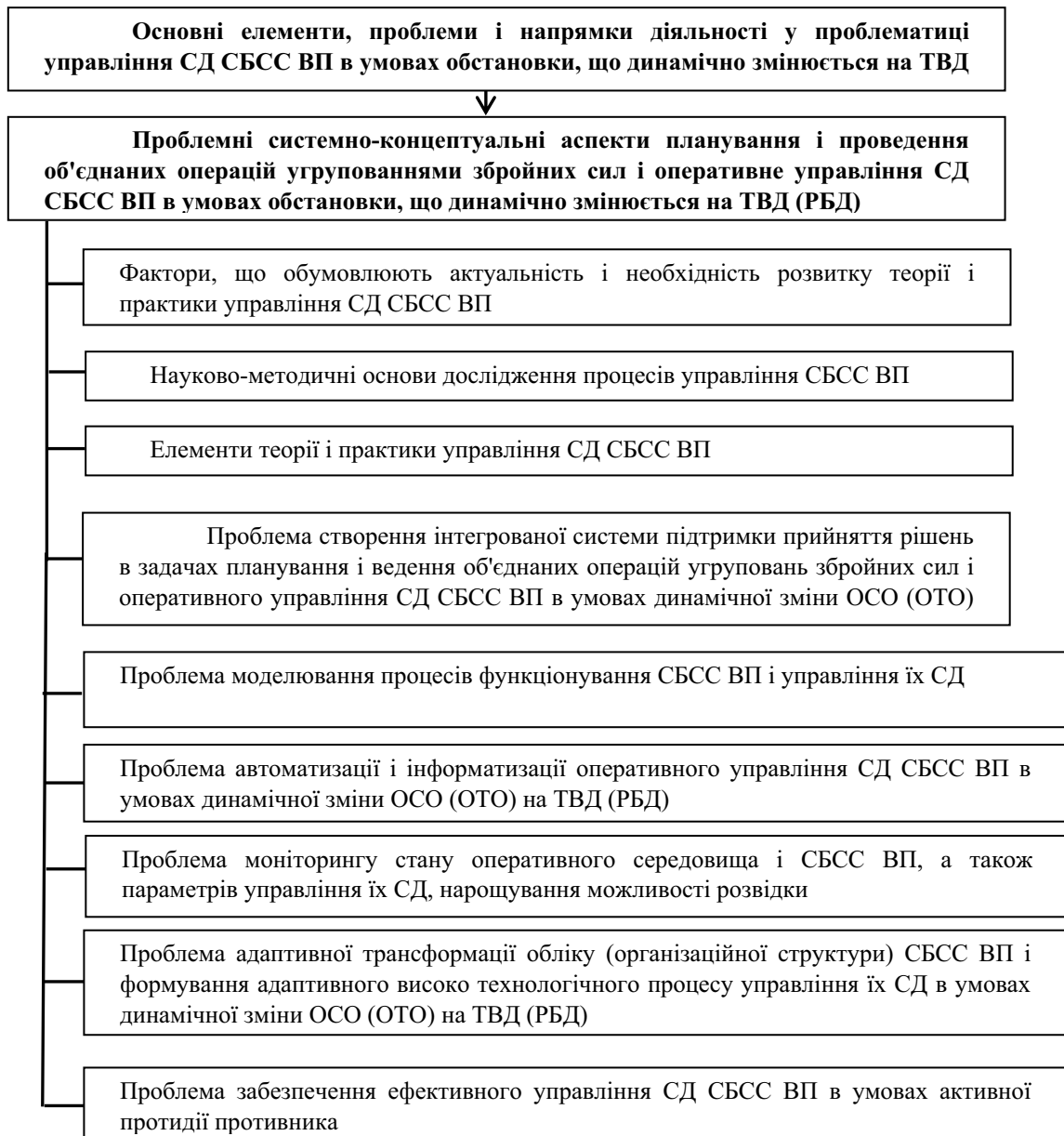


Рис. 5. Системно-концептуальне подання проблематики управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення (СД СБСС ВП) в умовах динамічної зміни оперативно-стратегічної (ОСО), оперативно-тактичної (ОТО) обстановки на ТВД, в районі бойових дій (РБД)

такий науково-методичний апарат, який за методами, що використовуються, є адекватним проблемі адаптивного трансформування (оперативній зміні) структурно-функціонального обрису складних систем ВП і адаптивного високотехнологічного автоматизованого управління їх СД під час планування (підготовки) і ведення операцій (бойових дій) угрупованнями збройних сил в умовах змін ОСО (ОТО) на ТВД (в районі бойових дій).

На додаток до цього, з причини неповноти, невизначеності, нечіткості і суперечності управлінської інформації, а також необхідності підвищення рівня автоматизації управління слід додати ще і необхідність комплексованого (спільного) використання при формуванні і прийнятті управлінських рішень сучасних, традиційних

та інтелектуальних інформаційних технологій [11, 12]. Останні будуть сприяти упорядкуванню формування процедур прийняття рішення у ситуаціях, що складно піддаються формалізованому опису за допомогою традиційних засобів. Однак слід враховувати можливі обмеження у використанні інтелектуальних технологій, вирішуючи задачі у реальному масштабі часу або масштабі, що наближений до нього.

У цілому науково-методичний апарат, адекватний процесу оновлення і вибору управлінських рішень, який враховує динамічні зміни ОСО (ОТО) обстановки на ТВД (у районі бойових дій), має дозволяти з єдиних системних управлінських позицій обґрунтувати характер і зміст процесів управління СД СБСС ВП, що беруть

участь в операціях (бойових діях) і сприяти результативному вирішенню проблеми забезпечення конфліктно-стійкого управління силами і засобами в умовах активної протидії противника (рис. 4).

Проблематика, що розглядається, як і будь-яка інша проблематика, у своєму складі має ключову (основну) проблему, що підлягає вирішенню, а також інші (додакові), безпосередньо пов'язані з нею проблеми, без урахування і вирішення яких, основна проблема не може бути вирішена повною мірою з належною якістю.

Як основна проблема (головна, домінуюча) у даному випадку є проблема ефективного управління СД СБСС ВП в умовах динамічної зміни ОСО (ОТО) обстановки на ТВД (в районі бойових дій), яка гостро проявляється і потребує вирішення під час протиборства конфліктуючих сторін (рис. 7).

До основної мети вирішення цієї управлінської проблеми слід віднести надання організаційній структурі СБСС ВП і функціонально-цільовій структурі технології конфліктно-стійкого управління силами і засобами властивостей швидкої і високоефективної адаптації до змін ОСО (ОТО) обстановки на ТВД (в районі бойових дій).

Це може бути досягнуто за рахунок підвищення бойового потенціалу військ (сил), нарощування переваг у розвідці, створенню телекомунікаційного середовища, що забезпечує підтримання високого рівня синхронізації дій військ (сил), їх злагодженості під час спільного виконання бойових задач.

Здатність до швидкого реагування дозволить раніше виявити сприятливі можливості і використовувати надані ними переваги у бойових діях.

Ця здатність буде мати сенс тільки при наявності підготовлених військ (сил) до швидкої їх організаційної і структурно-функціональної адаптації, якій мають сприяти відповідна оперативна і бойова підготовка військ.

Здатність до швидкої організаційної і структурно-функціональної адаптації сил і засобів можливо віднести до однієї з найбільш важливих характеристик успішної організації ведення операцій (бойових дій) у сучасних умовах активного протиборства конфліктуючих сторін.

Проте деякі важливі задачі, що покладені на угруповання своїх військ (сил), можуть бути не виконані в умовах швидкої зміни ОСО (ОТО) обстановки (із



Рис. 6. Послідовність проведення досліджень в області управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення

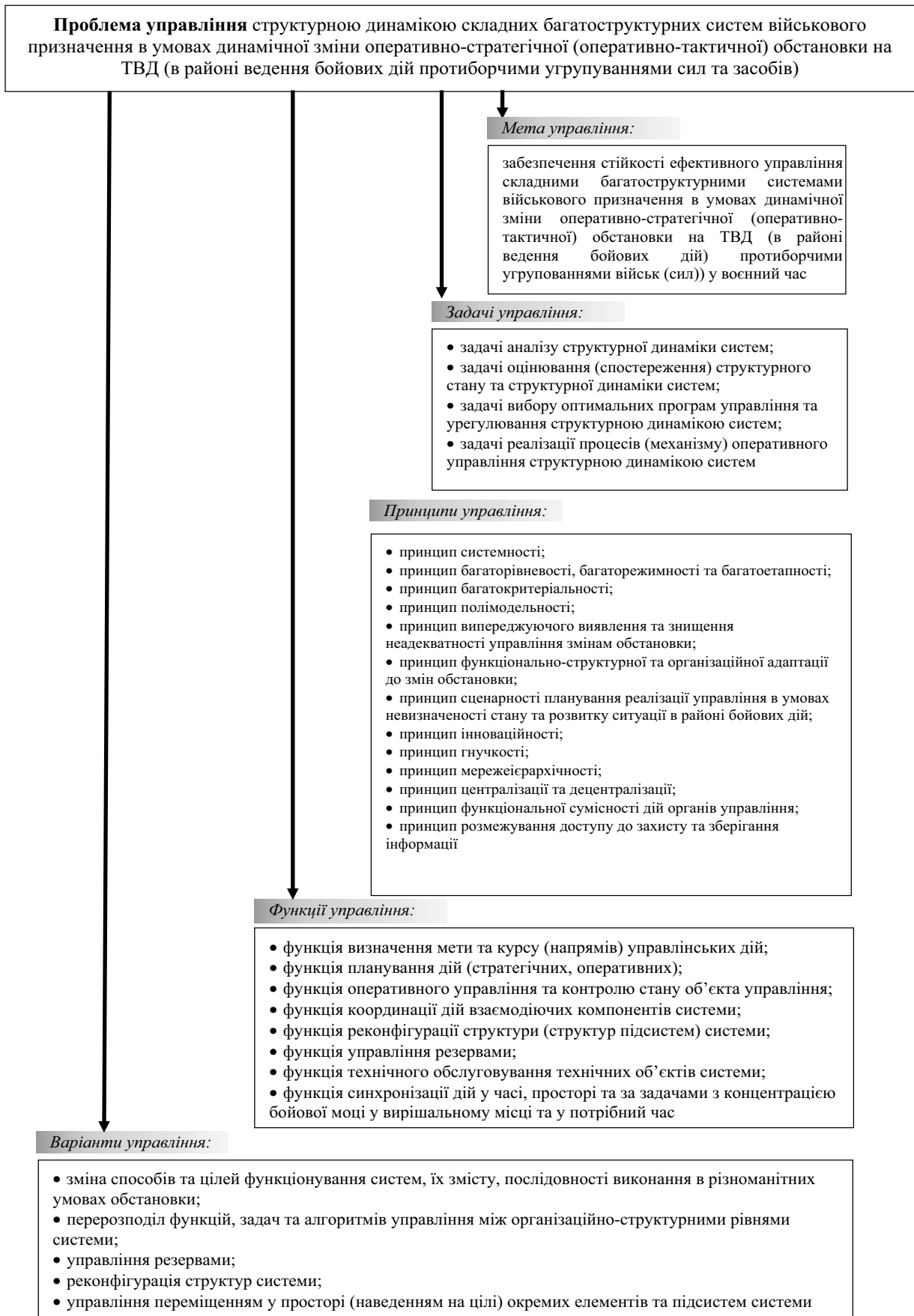


Рис. 7. Змістове представлення проблеми управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення при динамічній зміні оперативно-стратегічної (оперативно-тактичної) обстановки на ТВД (в районі ведення бойових дій)

швидкістю, що значно перевищує швидкість реакції системи управління) на ТВД (в районі бойових дій). Це обумовлює вимоги із забезпечення адаптивної зміни структури процесу управління, та її синхронізації відповідно до змін умов обстановки таким чином, щоб мати можливість випереджати дії противника і досягати суттєвого успіху. Труднощі, що виникають під час виконання задач управління СД СБСС ВП, обумовлюють прояв проблемних питань суперечного характеру, що потребують отримання теоретичного обґрунтування і практичної апробації відповіді на них компромісного характеру, використання інноваційного підходу до управління складними системами ВП.

Використання управління структурною динамікою складних систем ВП призводить до необхідності зміни акценту у розробці нових оперативно-концептуальних установок, процесів і процедур, стратегій, тактики управління силами і засобами збройної боротьби в інтелектуальну область (область інтелектуальних інформаційних технологій). Центральним аспектом проблеми управління стає зміна моделі управління, що надає більш високого рівня адаптації і більш економного (використання у меншій кількості) залучення (активізації) сил і засобів у конкретній ОСО (ОТО) обстановці ведення воєнних дій об'єднаними (міжвидовими) угрупованнями збройних сил (рис. 8). Задача оперативного (гнучкого) розподілу (перерозподілу) функцій і засобів управління власними військами (силами) слід вирішувати на різних етапах технологічного циклу (програми) управління у відповідності з динамікою зміни обстановки в районі операції (бойових дій) і відволікання сил і засобів противника на дії, що не дадуть йому потрібного успіху.

Практична реалізація базових положень концепції застосування збройних сил, перш за все, має бути спрямована на скорочення тривалості циклу бойового управління в умовах динамічної зміни обстановки та одночасному об'єднанні в одне ціле чотирьох складових процесу управління бойовими діями, а саме розвідки, оцінювання обстановки, прийняття рішення і нанесення удару.

Дослідження процесів застосування за призначенням складних систем мають охоплювати наступні основні етапи:

виявлення усіх можливих сценаріїв змін зовнішньої обстановки, в яких можливе застосування системи, включно із екстремальними ситуаціями і впливами;

знаходження узагальнених (інтегральних) оцінок ефективності управління СД складних систем;

обґрунтування системи моніторингу як самих систем, так і зовнішнього середовища;

обґрунтування та вибір моделей, алгоритмів і методів (способів) управління СД систем в умовах ОСО (ОТО) на ТВД (в районі бойових дій), тощо.

Доцільно провести аналіз таких варіантів управління СД, які зорієнтовані на наступному:

змінування цілей і способів застосування системи, їх утримання, послідовності виконання дій у різних умовах обстановки, адекватних динаміці її станів;

динамічне рефлексивне управління діями противника з введенням його в оману відносно своїх намірів; перерозподіл і децентралізація функцій, задач, алгоритмів управління, інформаційних потоків між ієрархічними рівнями системи і власне у кожному з рівнів; реконфігурацію структури системи у разі її деградації; управління резервами системи; мобільне переміщення в районі ведення бойових дій окремих елементів системи, тощо.

До основних засобів досліджень процесів функціонування СБСС ВП і підтримки прийняття управлінських рішень в динаміці планування (підготовки) ведення операцій (бойових дій) міжвидовими і іншими угрупованнями збройних сил та їх видами у зоні відповідальності може бути віднесене моделювання.

Найбільш придатними для цього є полімодельні комплекси, що інтегрують у своєму складі різні види взаємно узгоджених моделей і спільно використовують як традиційні, так і інтелектуальні технології моделювання [10-12].

Зміна функціональних задач потребує адекватної перебудови їх структури відповідно до уточнених задач, корекції моделі, що використовують для отримання прогнозованих оцінок макростанів системи і підготовки необхідних подальших управлінських рішень у динаміці змін ОСО (ОТО) на ТВД (в районі бойових дій).

У теперішній час теорія і практика моделювання процесів функціонування СБСС різних видів і типів ВП, а також алгоритмів управління їх СД залишаються ще недостатньо проробленими, що обумовлює необхідність їх подальшого розвитку.

Основну увагу доцільно зосередити на розробці й використанні таких моделей, які б дозволили підтримувати вибір кращих варіантів управління СД систем в умовах невизначеності прогнозованих ситуацій, які можуть виникати у процесі ведення операцій (бойових дій) угрупованнями збройних сил.

Під час комплексного моделювання процесів управління СД складних систем доцільно використовувати гібридні інтелектуальні технології, що узгоджуються з факторами існуючої невизначеності і структурованості поставлених задач.

Одним з методичних підходів до подання інформації про можливі тенденції вимірювання станів системи і актуального зовнішнього середовища є сценарний підхід.

Сценарій може бути наданий сукупністю моделей, що описують процес зміни стану складних систем і умов їх функціонування. При цьому необхідно розмежувати сценарій управління і сценарій поведінки системи. Сценарії управління формуються у залежності від мети управління і відповідного правила вибору впливів управління.

Сценарій може розглядатись як інструмент аналізу альтернативних варіантів розвитку ситуації при цільових установках, що задані в умовах невизначеності, коли складно безпосередньо формалізувати дії щодо цілеспрямованого управління об'єктом. При формуванні сценарію встановлюється, яким засобом і при яких умовах можливо досягти потрібного результату.



Рис. 8. Основні системно-організаційні та методичні аспекти адаптації та інформатизації задач оперативного управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення

Сценарії дозволяють отримати логічно обґрунтовану і правдоподібну послідовність дій і подій, що за ними настають, у причинно-послідовному зв'язку. Стосовно до оборонної області діяльності, зокрема до ведення операцій (бойових дій), доцільно розглядати сценарій як інструмент аналізу альтернативних варіантів розвитку ситуації у районі ведення бойових дій в умовах невизначеності, коли в межах існуючих часових обмежень з причини високих темпів зміни ОТО неможливо безпосередньо сформулювати конкретний і детальний план проведення заходів з реалізації управлінських технологій.

Сценарій розвитку ситуації у такому випадку буде необхідною проміжною ланкою між етапами цілепокладання, формування і реалізації конкретних управлінських рішень, що направлені на забезпечення досягнення поставлених цілей.

Побудова сценарію матиме дві цілі щодо існуючої невизначеності: по-перше, максимально можливе у рамках даного підходу її зниження; по-друге, опис невизначеності, яка не може бути усунена за допомогою ряду сценаріїв. Під невизначеністю розуміється ситуація, коли частково або повністю відсутня інформація про структуру і можливі стани системи та її середовища.

В якості компонентів невизначеності можуть бути виділені: об'єктивна невизначеність тривалості процесів у часі; суб'єктивний характер, що проявляється у процесі прийняття рішень; неповнота врахованої інформації; невизначеність впливу зовнішнього середовища на систему; невизначеність вибору критеріїв прийняття рішень.

Для розробки методології сценарного підходу до вирішення задачі планування і реалізації управління СД СБСС ВП в умовах невизначеності ОТО в районі ведення бойових дій необхідне детальне дослідження і аналіз видів та джерел невизначеності. Це дозволить виділити область застосування сценарного підходу і виявлення особливостей його застосування у різних ситуаціях.

Суттєвим фактором для побудови сценаріїв є модель, що дозволить вивчати різні аспекти розвитку ситуацій.

ВИСНОВКИ

Дослідження управління СД СБСС ВП неможливе без системно-концептуального представлення проблематики процесу формування і реалізації відповідних управлінських рішень. У проблематиці теорії і практики управління СД СБСС ВП ключовою проблемою є ефективне управління в умовах динамічної зміни ОСО (ОТО) обстановки на ТВД (в районі бойових дій).

Основною метою вирішення цієї управлінської проблеми є надання організаційній і функціонально-цільовій структурі СБСС технології конфліктно-стійкого управління силами і засобами властивостей швидкої й ефективної адаптації до змін обстановки на ТВД, що може бути реалізовано шляхом створення відповідних технічних засобів автоматизації.

Під управлінням СД розуміється процес формування і реалізації цілеспрямованих керуючих впливів на систему, що забезпечують її переведення у потрібний

багатоструктурний макростан з дотриманням принципу підпорядкування структури функціям системи.

Відомий науково-методичний апарат не дозволяє глибоко, достатньо ефективно, у повній мірі та всебічно проводити дослідження в області проблематики управління СД СБСС ВП. Тому, є необхідність подальшого розвитку (вдосконалення) теорії управління та розробки науково-методичних засобів, що дозволяють з єдиних системних позицій досліджувати нові актуальні аспекти, що виникають у теорії та практиці управління складними системами військового призначення.

При цьому, наскільки науково-методичний апарат є адекватним умовам і факторам, які здійснюють вплив на формування управлінських рішень, настільки результативними будуть прийняті рішення.

Результативність виконання науково-методичним апаратом своїх дослідницьких (обґрунтованих) функцій залежить від узгодженості застосування його методичних засобів до проведення комплексних досліджень актуальних проблем, що виникають у оборонній сфері в цілому, та в частині проблем теорії та практики управління СД СБСС військового призначення.

Науково-методичний апарат має об'єднувати процедури обґрунтування, формування, реалізації та контролю ходу виконання процесів ефективного управління структурною динамікою складних багатоструктурних систем військового призначення. Стаття є початком серії статей за розглянутими напрямками досліджень.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Сидорин А. Н., Прищепов В. Н., Акуленко В. П. Вооруженные силы США в XXI веке: военно-теоретический тр. М.: Кучково поле; Военная книга, 2013. 800 с.
2. Владимиров А. И. Основы общей теории войны: монография в 2 ч. Ч.1: Основы теории войны. М.: Синергия, 2013. 832 с.
3. Рогозин Д. О., Шеремет И. А., Гарбук С. В., Губинский А. М. Высокие технологии в США: опыт министерства обороны и других ведомств. М.: Изд-во Московского ун-та, 2013. 384 с.
4. Паршин С. А., Горбачев Ю. Е., Кожанов Ю. А. Современные тенденции развития теории и практики управления в вооруженных силах США. М.: ЛЕНАНД, 2009. 272 с.
5. Сидорин А. Н., Мингатин Г. М., Прищепов В. М., Акуленко В. П. Вооруженные силы зарубежных государств : информ.-аналитический сб. М.: Воениздат, 2009. 528 с.
6. Печуров С. Л. Англо-саксонская модель управления в военной сфере: история и современность. М.: КомКнига, 2005. 232 с.
7. Демидов Б. А. Методические основы системных исследований и решения проблем технического оснащения вооруженных сил государства: монография: в 2 кн. Кн. 1 / под ред.: Б. А. Демидова, О. П. Коростелева. Киев: ИД "Стилос", 2016. 655 с.

8. Принципи, методи і технології ведення збройної боротьби, управління силами і засобами в умовах активного інформаційного протиборства конфліктуючих сторін / Д. А. Гриб та ін. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2019. № 1(34). С. 12-22 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.34.02>.
9. Моніторинг станів операційного середовища та багатоструктурних систем військового призначення при управлінні їх функціонуванням та структурною динамікою / Д. А. Гриб та ін. Зб. наук. пр. Харківського нац. ун-ту Повітряних Сил, 2019. № 1(59). С. 14-25 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.59.02>.
10. Принципи, методи і технології моделювання і дослідження процесів функціонування складних багатоструктурних систем військового призначення і управління їх структурною динамікою / Д. А. Гриб та ін. Системи обробки інформації, 2019. № 1(156). С. 64-73 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30748/soi.2019.156.09>.
11. Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. М.: Наука, 2006. 333 с.
12. Пегат А. Нечеткое управление и моделирование; пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 798 с.
13. Управління структурною динамікою складних систем військового призначення у оперативнотактичній обстановці, що динамічно змінюється / Д. А. Гриб та ін. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2019. № 2(35). С. 16-26. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.35.02>.
14. Системно-концептуальные основы методологии военно-научных исследований и решения прикладных военно-технических систем. Кн. 2: монография / под ред. Б. А. Демидова. Тверь, 2014. 688 с.
15. Демидов Б. А., Луханин М. И., Величко А. Ф., Науменко М. В. Системная методология планирования развития, предпроектных исследований и внешнего проектирования вооружения и военной техники. Киев: ИД “Стилос”, 2011. 464 с.
3. Rogozin, D. O., Sheremet, I. A., Garbuk, S. V. and Gubinsky, A. M. (2013), “*Vysokye tekhnolohyy v SshA: opyt mynysterstva oborony y druhykh vedomstv*” [High technologies in the USA: Experience of the ministry of defense and other departments], Publ. of Moscow Univ., M., 384 p.
4. Parshin, S. A., Gorbachev, Yu. E. and Kozhanov, Yu. A. (2009), “*Sovremennyye tendentsyy razvytyia teoryy y praktyky upravleniya v vooruzhennykh sylakh SShA*” [Modern trends in the development of the theory and practice of management in the US Armed Forces], LENAND, M., 272 p.
5. Sidorin, A. N., Mingatin, G. M., Pryshepov, V. M. and Akulenko, V. P. (2009), “*Vooruzhennyye syly zarubezhnykh hosudarstv: informatsyonno-analytycheskyi sb.*” [Armed forces of foreign states: informational and analytical coll.], Military, M., 528 p.
6. Pechurov, S. L. (2005), “*Anhlo-saksonskaia model upravleniya v voennoi sfere: ystoriya y sovremennost*” [Anglo-Saxon model of governance in the military sphere: history and modernity], KomKniga, M., 232 p.
7. Demidov, B. A., Korostelev, O. P. and Ostapenko, S. N. (2016), “*Metodycheskye osnovy systemnykh yssledovanyi y resheniya problem tekhnicheskoho osnashcheniya vooruzhennykh syl hosudarstva: monografyia v 2 kn. Kn. 1*” [Methodical bases of system researches and the decision of problems of technical equipment of the armed forces of the state: monograph. in 2 b. B. 1], Stylos, K., 655 p.
8. Hryb, D. A., etc. (2019), “Pryntsypy, metody i tekhnolohii vedennia zbroinoi borotby, upravlinnia sylamy i zasobamy v umovakh aktyvnoho informatsiinoho protyborstva konfliktuiuchykh storin” [Principles, methods and technologies for warfare, formation and force management in conditions of active informational conflict of the conflicting parties], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 1(34), pp. 12-22. Available at: <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.34.02>.
9. Hryb, D. A., etc. (2019), “Monitorynh staniv operatsiinoho seredovyshcha ta bahatostrukturnykh system viiskovoho pryznachennia pry upravlinni yikh funktsionuvanniam ta strukturoiu dynamikoiu” [Monitoring the states of operating environment and multi-structural systems of military assignment in the management of their functioning and structural dynamics], *Scientific Works of Kharkiv Nat. Air Force Univ.*, Vol. 1(59), pp. 14-25. Available at: <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.59.02>.
10. Hryb, D. A., etc. (2019), “Pryntsypy, metody i tekhnolohii modeliuvannia i doslidzhennia protsesiv funktsionuvannia skladnykh bahatostrukturnykh system viiskovoho pryznachennia i upravlinnia yikh strukturoiu dynamikoiu” [Principles, methods and technologies of modeling and research processes of functioning complicated systems of military purposes and management of structure dynamics], *Information Processing Systems*, Vol. 1(156), pp. 64-73. Available at: <https://doi.org/10.30748/soi.2019.156.09>.

REFERENCES

1. Sidorin, A. N., Pryshepov, V. N. and Akulenko, V. P. (2013), “*Vooruzhennyye syly SShA v XXI veke: Voennoteoretycheskyi trud*” [US Armed Forces in the 21st Century: Military Theoretical Work], Kuchkovo field; Military Book, M., 800 p.
2. Vladimirov, A. I. (2013), “*Osnovy obshchei teoryy voiny: monografyia v 2 ch. Ch. I: Osnovy Teoryy Voiny*” [Bases of the general theory of war: monograph in 2 p. P. I: Fundamentals of the theory of war], Synergy, M., 832 p.

11. Makarov, I. M., Lohin, V. M., Manko, S. V. and Romanov, M. P. (2006), “*Yskusstvennyi yntellekt y yntellektualnye systemy upravleniya*” [*Artificial intelligence and intelligent control systems*], Nauka, M., 333 p.
12. Pegat, A. (2009), “*Nechetkoe upravlenye y modelirovaniye*” [*Fuzzy control and modeling*], BINOM. Laboratory of Knowledge, M., 798 p.
13. Hryb, D. A., etc. (2019), “*Upravlinnia strukturnoiu dynamikoio skladnykh system viiskovoho pryznachennia u operatyvno-taktychnii obstanovtsi, shcho dynamichno zminiuietsia*” [Management of structural dynamics of complex systems of military purpose in a dynamically changing operational tactical situation], *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, No. 2(35), pp. 16-26. Available at: <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.35.02>.
14. “*Systemno-kontseptualnye osnovy metodolohyy voenno-nauchnykh yssledovanyi y resheniya prykladnykh voenno-tekhnycheskykh system. Kn. 2: monografyia*” [*System and conceptual bases of methodology of military and scientific researches and decisions of applied military and technical systems. Kn. 2: monograph*] / ed. by Demidov, B. A., Tver, 2014. 688 p.
15. Demidov, B. A., Lukhanin, M. I., Velychko, A. F., and Naumenko, M. V. (2011), “*Systemnaia metodolohyia planirovaniia razvytiia predproektnykh yssledovanyi y vneshneho proektyrovaniia vooruzheniia y voennoi tekhniki*” [*System methodology for development planning, predesign studies and external projection of weapons and military equipment*], Stylos, K., 464 p.

Відомості про авторів:**Демідов Борис Олексійович**

доктор технічних наук, професор
 провідний науковий співробітник
 науково-дослідного відділу наукового центру
 Повітряних Сил Харківського національного
 університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
 м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1728-6925>

Луханин Михаил Иванович

доктор технічних наук, професор
 наукового центру Центрального науково-дослідного
 інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил
 України, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1919-8526>

Величко Олександр Федорович

Магістр управління суспільним розвитком
 державний експерт служби з питань оборонно-промислового
 комплексу та військово-технічного співробітництва Апарату
 Ради національної безпеки і оборони України, м. Київ,
 Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7631-6584>

Гриб Дмитро Анатолійович

кандидат військових наук доцент
 головний науковий співробітник
 Харківського національного університету Повітряних Сил
 ім. І. Кожедуба, Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8478-978X>

Хмелевська Ольга Олександрівна

кандидат технічних наук
 провідний науковий співробітник наукового центру
 Повітряних Сил Харківського національного університету
 Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9018-5552>

Information about the author:**Boris Demidov**

Doctor of technical science professor
 Leading research associate of scientific research department of
 scientific center of Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National
 Air Force University
 Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1728-6925>

Mykhailo Lukhanin Doctor of technical science, Professor
 Central Scientific Research Institute of Armaments and Military
 Equipment of Armed Forces of Ukraine
 Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1919-8526>

Oleksandr Velychko

Master of Public Management
 State Expert of the Unit for the Defense Industry and Military-
 Technical Cooperation of the Staff the National Security and
 Defense Council of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7631-6584>

Dmitrii Grib

Candidate of Military Sciences
 Chief research associate of scientific research department of
 scientific center of Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National
 Air Force University, Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8478-978X>

Khmelevcka Olga

Candidate of Technical Sciences
 Lead Researcher Scientific Center of scientific center of Air
 Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University,
 Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9018-5552>

Стаття надійшла до редколегії 19.07.2019 р.

Рецензент В. В. Зубарсв, д-р техн. наук, професор
 (Центральний науково-дослідний інститут озброєння
 та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-4998-726X>

Рецензент М. І. Васьківський, д-р техн. наук,
 професор
 (Центральний науково-дослідний інститут озброєння
 та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-2430-8478>

УДК 623.4.025

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3\(23\).40-45](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3(23).40-45)**В. С. МОЧЕРАД**, кандидат технічних наук<https://orcid.org/0000-0001-7408-7661>**М. В. ДУБНО**, начальник науково-дослідної лабораторії<https://orcid.org/0000-0002-3192-0382>**В. В. КОЛЕСНИК**, старший науковий співробітник<https://orcid.org/0000-0001-5257-3124>**В. П. ЗАДОРЖНИЙ**, науковий співробітник<https://orcid.org/0000-0002-1134-3928>

(Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів)

Визначення пріоритетності цілі для її ураження за критерієм максимуму видимої поверхні

В статті представлено удосконалений метод визначення пріоритетності цілі для її ураження за критерієм максимуму видимої поверхні, який ґрунтується на правилі вибору цілі екіпажем танка і розробленому способі визначення площі видимої поверхні цілі та дозволяє автоматизувати процес вибору цілі для ураження в залежності від кутів спостереження та орієнтації цілі в просторі, її типу та напрямку руху. Тобто в такий спосіб враховані топографічні умови стрільби. Новизна розробленого методу полягає в можливості автоматизації процесу визначення видимої площі цілі, шляхом заміни складної геометричної форми будь-якої цілі еліпсоїдом та визначення площі еліпса, утвореного центральним перерізом площиною еліпсоїда.

Ключові слова: вибір цілі на ураження, видима поверхня цілі, топографічні умови стрільби з танка.

В статье представлен усовершенствованный метод определения приоритетности цели для ее поражения по критерию максимуму видимой поверхности, основанный на правиле выбора цели экипажем танка и разработанном способе определения площади видимой поверхности цели и позволяет автоматизировать процесс выбора цели для поражения в зависимости от углов наблюдения и ориентации цели в пространстве, ее типа и направления движения. Таким образом учтены топографические условия стрельбы. Новизна разработанного метода заключается в возможности автоматизации процесса определения видимой площади цели, путем замены сложной формы любой цели эллипсоидом и определения площади эллипса, образованного центральным сечением плоскостью эллипсоида.

Ключевые слова: выбор цели на поражение, видимая поверхность цели, топографические условия стрельбы из танка.

ВСТУП

Одним із напрямів підвищення ефективності сучасних танків є скорочення часу вирішення вогневої задачі та підвищення ефективності обстрілу цілей, не погіршуючи системні властивості танка. Поряд з тим, актуальною залишається вимога зменшення психологічного навантаження на членів екіпажа танка при одночасному збільшенні ефективності ураження групи цілей [1]. Виконання цієї вимоги обумовлює необхідність проведення автоматизації усіх функцій, які виконує екіпаж танка. Зокрема, до таких функцій відноситься вибір цілі для ураження.

Аналіз публікацій з даної тематики показав [1, 2], що запропонована процедура раціонального вибору цілі для її ураження за критерієм ступеня небезпечності цілі та максимуму вогневої продуктивності комплексу танкового озброєння при стрільбі по типових цілях не в повній мірі враховує дані про цільову тактичну ситуацію та стан цілей і потребує подальшого удосконалення та розвитку. Зокрема, раціональний вибір пропонується проводити на основі автоматизованого ранжирування виявлених цілей. В якості критеріїв ранжирування виступають попередньо проведені оцінки виявлених цілей за ступенем безпеки, уразливості та часу ураження, при цьому дальність до цілі враховується усіма показниками оцінки. В цілому такий підхід відповідає правилу вибору цілі екіпажем танка, але, виходячи з обмежень і припущень, які були прийняті у згаданому дослідженні, існує неоднозначність вибору цілі, коли приблизно на однаковій відстані виявлені однотипні цілі. Зазначену неоднозначність можна розв'язати, якщо будуть враховані топографічні та тактичні умови стрільби. Відомо [3], оптимальним моментом для проведення пострілу вважається той, при якому видима площа цілі, яка уражається, є найбільшою (ціль повернута боком, знаходиться на схилі або рухається по схилу, зверненому до танка, який стріляє).

Питанню визначення тактичних умов стрільби з танка присвячено ряд наукових праць [4, 5], в яких встановлено, що: перспективною навігаційною системою для танкових та механізованих підрозділів повинна бути комплексна навігаційна система з візуалізацією тактичної обстановки на фоні електронної карти з використанням геоінформаційних технологій; комплектована система навігації на базі інерційних систем навігації забезпечує вимоги з точності та безперервності отримання навігаційної інформації; для забезпечення зовнішнього цілевказання бойові машини механізованих (танкових) підрозділів повинні бути оснащені навігаційними комплексами, що безперервно визначають координати бойових машин із точністю не більше 20 м, дирекційний кут із точністю до 5 п.к. та відстань до цілі не більше 10 м (при цьому забезпечується визначення кута довороту гармати на ціль з підлеглої машини з точністю 12 п.к., що забезпечує швидкий допошук цілі та її ураження).

Сучасні досягнення геоінформатики дозволяють визначати нахили цілі відносно спостерігача по відомим координатам, з точністю, яка залежить від точності матриці висот. Використання, наприклад,

триангуляційних моделей географічних об'єктів (модель TIN – Triangulation Irregular Network) [6, 7], дозволяє із необхідною точністю визначити висоту і повздовжній та поперечний нахил платформи (цілі). Модель TIN має ефективні засоби відображення поверхні за допомогою експозиції схилів, крутості і затінювання граней, діапазонів висот для поверхні.

Отже, сучасний стан розвитку навігаційних та геоінформаційних систем дозволяє із необхідною точністю визначити необхідні параметри об'єктів на шляху вирішення завдань, пов'язаних з автоматизацією процесів раціонального вибору цілей, цілерозподілу.

Метою статті є вирішення завдання за рішенням неоднозначності під час вибору цілі для її ураження серед виявлених однотипних та рівновіддалених цілей відомим методом, шляхом введення додаткового критерію визначення пріоритетності цілі за критерієм максимуму видимої поверхні цілі.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Топографічні умови є одними з головних чинників, що впливають на процес вибору цілі та точність стрільби з танка. Більш детально вплив топографічних умов на точність стрільби розглянуто в роботах [3, 8] і такий вплив враховується інформаційно-керуючою системою управління вогнем танка шляхом визначення трьох поправок: поправка дальності (висоти) на боковий крен; поправка висоти стрільби на вертикальне переміщення цілі (танка); перевищення танка і цілі. Із зазначених показників лише поправка дальності (висоти) на боковий крен враховується автоматично при стрільбі з гармати, решта не автоматизовані. Значення величин поправок висоти стрільби на вертикальне переміщення цілі по схилах різної крутості і різних швидкостях руху танка – відомі, а отже піддаються автоматизації. Визначення перевищення танка і цілі пов'язане з визначеннями координат, напрямку і швидкості цілі і танка. Зазначені параметри відносяться до тактичних умов стрільби: характер цілі (тип, розміри, напрямок і швидкість руху) і дальність до цілі; напрямок і швидкість руху свого танка.

Тактичні умови частково враховані при визначенні раціональної послідовності обстрілу цілей комплексом танкового озброєння, через відповідну матрицю виявлених цілей [9]:

$$C(t_n) = \begin{pmatrix} C_1(T_1, d_1, |V_1|, t_{вияв_1}) \\ C_2(T_2, d_2, |V_2|, t_{вияв_2}) \\ \dots \\ C_k(T_k, d_k, |V_k|, t_{вияв_k}) \end{pmatrix},$$

де $C(t_n)$ – матриця виявлених цілей на момент часу t_n ;

$C_k(T_k, d_k, |V_k|, t_{вияв_k})$ – виявлена k ціль з параметрами, які її характеризують в часі та просторі; T – тип цілі; d – дальність до цілі в момент часу її виявлення; $|V|$ – швидкість та напрямок руху цілі в момент часу її виявлення; $t_{вияв}$ – момент часу виявлення.

З метою врахування топографічних умов пропонується доповнити параметри виявлених цілей – видимою площею S_k в момент часу виявлення, тоді виявлена k

ціль буде мати наступні параметри, які характеризують її в часі та просторі:

$$C_k(T_k, d_k, |V_k|, t_{вияв_k}, S_k).$$

Значення видимої площі цілі S_k залежить від типу цілі (ТАНК, БМП, БТР, САУ, автомобіль та інші), її повздовжнього і поперечного нахилу на місцевості та кутів спостереження. Дослідження 3D моделей наземних та рухомих цілей під різними кутами спостереження та виміри площі видимої поверхні за допомогою інструменту AutoCAD показали, що кожна з типових цілей для танка володіє певними характерними ознаками, які суттєво впливають на процес визначення видимої площі і у свою чергу є слабо структурованими на шляху до алгоритмізації процесу. Поряд з тим, аналіз отриманих залежностей доводить існування закономірностей у пропорційних значеннях видимих площ в залежності від кутів спостереження (рис. 1). Очевидно, такі закономірності властиві усім типовим цілям для танка з огляду на їх симетричну будову у різних площинах спостереження.



Рис.1. Значення видимої площі S_k на прикладі танка M1A2 Abrams в залежності від кутів спостереження.

Результати проведеного аналізу актуалізують необхідність пошуку способу визначення видимих площ типових цілей в залежності від їх просторової орієнтації та кутів спостереження з урахуванням складної геометричної фігурності.

В даному випадку запропоновано для кожного типу цілі підібрати свої параметри відомої просторової фігури (рис. 2), яку в подальшому можна досліджувати на предмет визначення видимої площі від кутів спостереження.

Найбільшим ступенем подібності по відношенню до реальної складної геометричної форми цілей, серед інших можливих відомих варіантів просторових кривих, характеризується тривісний еліпсоїд. Таким чином, для кожного типу рухомих, наземних цілей можна підібрати

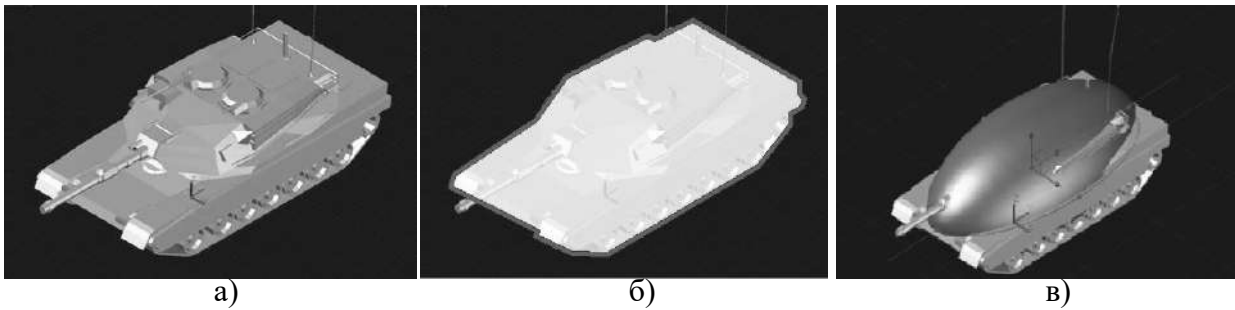


Рис. 2. Визначення площі видимої поверхні за допомогою інструменту AutoCAD на прикладі танка M1A2 Abrams: а – 3D модель танка під кутами спостереження по азимуту та куту місця 45°; б – визначення видимої площі поверхні 3D моделі танка; в – підбір параметрів тривісного еліпсоїда

свої параметри трьохосного еліпсоїда, які дозволяють максимально наближено визначити видиму площу цілі в залежності від кутів спостереження. Площа такої поверхні дорівнює площі еліпса, тобто просторовій кривій, яка утворюється внаслідок центрального перерізу тривісного еліпсоїда площиною (рис. 2).

Площа еліпса напряму залежить від кутів спостереження та орієнтації еліпсоїда в просторі. Як відомо, для визначення площі еліпса необхідно знайти велику і малу піввісі.

Визначення великої та малої піввісей еліпса, отриманого внаслідок центрального перерізу еліпсоїда площиною Q. Нехай початок координат знаходиться у точці O (0,0,0) прямокутної декартової системи координат, а центр еліпсоїда – у точці E (x_e, y_e, z_e); піввісі еліпсоїда a, b, c . Через центр еліпсоїда перпендикулярно до вектора OE = $\vec{r}_e = (x_e, y_e, z_e)$ проведемо площину і знайдемо криву її перетину з еліпсоїдом (рис. 3).

Нехай орієнтація еліпсоїда у просторі задана орієнтацією його головних осей:

напрямні косинуси вектора EA є (t_{11}, t_{21}, t_{31}) $\equiv v_a$; напрямні косинуси вектора EB є (t_{12}, t_{22}, t_{32}) $\equiv v_b$; напрямні косинуси вектора EC є (t_{13}, t_{23}, t_{33}) $\equiv v_c$. Серед усіх 9-и компонент t_{ij} лише три незалежні, оскільки довжина кожного v_j рівна одиниці і ці вектори взаємно перпендикулярні.

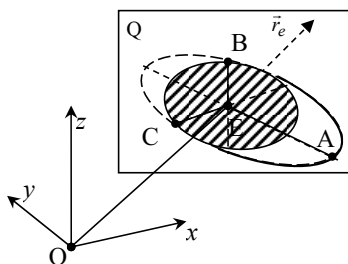


Рис. 3. Просторова орієнтація вектору \vec{r}_e

Перейдемо до системи координат, пов'язаної із еліпсом. Координати точки (x, y, z) у новій системі координат позначимо $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$. Старі та нові координати пов'язані співвідношеннями [9, с. 77]:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= t_{11}(x-x_e) + t_{21}(y-y_e) + t_{31}(z-z_e), \\ \bar{y} &= t_{12}(x-x_e) + t_{22}(y-y_e) + t_{32}(z-z_e), \\ \bar{z} &= t_{13}(x-x_e) + t_{23}(y-y_e) + t_{33}(z-z_e).\end{aligned}$$

У новій системі координат рівняння еліпсоїда є таким:

$$\frac{\bar{x}^2}{a^2} + \frac{\bar{y}^2}{b^2} + \frac{\bar{z}^2}{c^2} = 1, \quad (1)$$

координати точки E є (0,0,0), а точка O має координати:

$$\begin{aligned}-(t_{11}x_e + t_{21}y_e + t_{31}z_e, t_{12}x_e + t_{22}y_e + \\ + t_{32}z_e, t_{13}x_e + t_{23}y_e + t_{33}z_e) \equiv \\ \equiv -(v_a \cdot r_e, v_b \cdot r_e, v_c \cdot r_e) \equiv -(\alpha, \beta, \gamma).\end{aligned} \quad (2)$$

Рівняння площини, перпендикулярної до вектора (2), має вигляд:

$$\begin{aligned}v_a \cdot r_e \bar{x} + v_b \cdot r_e \bar{y} + v_c \cdot r_e \bar{z} \equiv \\ \equiv \alpha \bar{x} + \beta \bar{y} + \gamma \bar{z} = 0.\end{aligned} \quad (3)$$

Просторова крива, що є перетином поверхонь (1) та (3), є такою:

$$\begin{cases} \frac{\bar{x}^2}{a^2} + \frac{\bar{y}^2}{b^2} + \frac{\bar{z}^2}{c^2} = 1; \\ \alpha \bar{x} + \beta \bar{y} + \gamma \bar{z} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Для отримання її рівняння у площині виконаємо наступні перетворення. Шляхом належного повороту навколо осі O_x вилучимо одну із координат:

$$\begin{cases} \bar{x} = x_1; \\ \bar{y} = y_1 \cos \varphi - z_1 \sin \varphi; \\ \bar{z} = y_1 \sin \varphi + z_1 \cos \varphi. \end{cases} \quad (5)$$

Після підстановки (5) у рівняння (4) маємо:

$$\begin{aligned}\alpha x_1 + \beta(y_1 \cos \varphi - z_1 \sin \varphi) + \gamma(y_1 \sin \varphi + z_1 \cos \varphi) = \\ = \alpha x_1 + y_1(\beta \cos \varphi + \gamma \sin \varphi) + z_1(-\beta \sin \varphi + \gamma \cos \varphi) = \\ = \alpha x_1 + y_1(\beta \cos \varphi + \gamma \sin \varphi) = 0,\end{aligned}$$

якщо

$$\varphi = \arctg\left(\frac{\gamma}{\beta}\right), \quad (6)$$

тоді рівняння площини має вигляд:

$$\alpha x_1 + y_1 \sqrt{\beta^2 + \gamma^2} = 0. \quad (7)$$

Далі, здійснивши поворот навколо осі O_z , отримаємо:

$$\begin{cases} x_1 = x_2 \cos \psi - y_2 \sin \psi; \\ y_1 = x_2 \sin \psi + y_2 \cos \psi; \\ z_1 = z_2. \end{cases} \quad (8)$$

Підставивши (8) у (7), отримаємо:

$$\begin{aligned} & \alpha(x_2 \cos \psi - y_2 \sin \psi) + (x_2 \sin \psi + y_2 \cos \psi) \sqrt{\beta^2 + \gamma^2} = \\ & = x_2(\alpha \cos \psi + \sqrt{\beta^2 + \gamma^2} \sin \psi) + y_2(-\alpha \sin \psi + \\ & + \sqrt{\beta^2 + \gamma^2} \cos \psi) = x_2(\alpha \cos \psi + \sqrt{\beta^2 + \gamma^2} \sin \psi) = 0, \end{aligned}$$

якщо

$$\psi = \arctg \left(\frac{\sqrt{\beta^2 + \gamma^2}}{\alpha} \right). \quad (9)$$

Таким чином, заміни (5) і (8), із параметрами (6) та (9), приведуть систему координат до такої, у якій рівняння площини перерізу є $x_2 = 0$. Підставивши (8) у (5), а (5) у перше рівняння (4) і врахувавши $x_2 = 0$, маємо:

$$a_{11}y_2^2 + 2a_{12}y_2z_2 + a_{22}z_2^2 + a_{33} = 0,$$

де

$$a_{11} = \frac{\sin^2 \psi}{a^2} + \frac{\cos^2 \varphi \cos^2 \psi}{b^2} + \frac{\sin^2 \varphi \cos^2 \psi}{c^2},$$

$$a_{12} = \left(\frac{1}{c^2} - \frac{1}{b^2} \right) \sin \varphi \cos \varphi \cos \psi,$$

$$a_{22} = \frac{\sin^2 \varphi}{b^2} + \frac{\cos^2 \varphi}{c^2},$$

$$a_{33} = -1.$$

Згідно [9, с. 62] піввісі \bar{a}, \bar{b} отриманого еліпса можуть бути виражені через його інваріанти за формулами:

$$\bar{a}^2 = -\frac{1}{\lambda_2} \frac{A}{D}, \quad \bar{b}^2 = -\frac{1}{\lambda_1} \frac{A}{D},$$

де $\lambda_1 \geq \lambda_2$ – корені характеристичного рівняння $\lambda^2 - I\lambda + D = 0$,

$$I = a_{11} + a_{22}, \quad D = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{vmatrix}, \quad A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{12} & a_{22} & a_{23} \\ a_{13} & a_{23} & a_{33} \end{vmatrix}.$$

Оскільки у нас $a_{13} = a_{23} = 0$ і $a_{33} = -1$, і $D = -A$, тоді піввісі \bar{a} і \bar{b} мають вигляд:

$$\begin{aligned} \bar{a}^2 &= \frac{1}{\lambda_2} = \frac{2}{I - \sqrt{I^2 - 4D}}, \\ \bar{b}^2 &= \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2}{I + \sqrt{I^2 - 4D}}. \end{aligned} \quad (10)$$

Отримані залежності (10) дозволяють алгоритмізувати процес визначення видимої поверхні цілі шляхом визначення площі еліпса центрального перерізу

еліпсоїда в залежності від просторової орієнтації еліпсоїда (цілі) по відношенню до спостерігача.

Такий підхід удосконалює відомий метод визначення раціональної послідовності обстрілу цілей при вирішенні вогневих задач екіпажем танка, шляхом урахування топографічних умов стрільби через коефіцієнт фігурності цілі K_m . В загальному випадку, коефіцієнт фігурності цілі – це відношення площі цілі до описаного навколо неї площі прямокутника [3]. Але враховуючи вище викладене та беручи до уваги відому методологію визначення коефіцієнта фігурності цілі [3, 8] з метою підвищення точності розрахунків ймовірності влучення в ціль $P_{ел}$ буде цілком прийнятним рахувати, що коефіцієнт фігурності цілі K_m – це відношення площі цілі до площі вписаного навколо неї еліпса.

Значення коефіцієнта буде змінюватись від зміни умов спостереження (повздожній і поперечний нахил цілі, кути спостереження) за ціллю в часі:

$$P_{ел}(t) = K_m(t)P_y P_z,$$

де K_m – коефіцієнт, що враховує відмінність форми цілі від еліпса і неспівпадіння центру розсіювання снарядів з центром цілі;

P_y, P_z – ймовірність влучення у вертикальну і горизонтальну смуги, що дорівнює висоті (ширині) приведеної цілі, яка визначається по таблицях нормальної функції розподілу.

Отже, знайдено прямий зв'язок між зміною у часі видимої поверхні цілі і ймовірності влучення в ціль.

ВИСНОВКИ

Удосконалено метод визначення пріоритетності цілі для її ураження шляхом введення критерію максимуму видимої поверхні, який ґрунтується на правилі вибору цілі екіпажем танка і розробленому способі визначення площі видимої поверхні цілі та дозволяє автоматизувати процес вибору цілі для ураження в залежності від кутів спостереження та орієнтації цілі в просторі, її типу та напрямку руху.

Новизна удосконалення методу полягає в можливості автоматизації процесу визначення видимої площі цілі, шляхом заміни складної геометричної форми будь-якої цілі еліпсоїдом та визначення площі еліпса, утвореного центральним перерізом площиною еліпсоїда.

Розроблений підхід дозволяє розв'язати неоднозначність вибору цілі для ураження серед однотипних цілей, які виявлені приблизно на одній відстані, а також дозволяє удосконалити відомі алгоритми цілерозподілу у танковому підрозділі шляхом урахування додаткового критерію, який характеризує видиму площу цілі.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Васьківський М. І., Ткаченко В. А. Автоматизація підготовки пострілу на основі даних про тактичну ситуацію. Зб. наукових пр. Центру військово-стратегічних досліджень нац. ун-ту оборони України. Вип. 3(44). Київ: НУОУ, 2011. С. 85–94.

2. Мочерад В. С. Ранжирування виявлених цілей інформаційно-керуючою системою управління вогнем танка. Зб. наукових пр. ЦНДІ ОБТ ЗС України, 2013. №1(56). С. 72-88.
3. Правила стрільби з танків. Управління бойової підготовки Командування Сухопутних військ Збройних Сил України. Київ: в-во МО України, 2008. 112 с.
4. Корольов В. М., Руденко К. В., Корольова О. В. Оцінка похибок визначення координат і вектора швидкості цілі з рухомого об'єкта. Гіротехнології, навігація, управління рухом та конструювання космічної техніки: зб. наукових доповідей VII-ої Міжнар. конф. Т1. Київ: НТУУ «Київський політехнічний інститут», 2009. С. 210-215.
5. Корольов В. М., Руденко К. В., Корольова О. В. Математична модель оцінки похибок зовнішнього цілевказування при використанні додаткового вимірювання відстані. Системи озброєння і військова техніка, 2009. № 2(18). С. 88-91.
6. Зейлер М. Моделирование нашего мира: Руководство ESRI по проектированию базы геоданных; пер. с англ. М.: СП ООО Дата+, 2004. 254 с.
7. Шипулін В. Д. Посіб. з навчання роботі з кадастрово-реєстраційною системою. Київ: Географіка, 2011. 439 с.
8. Танки (основы теории, конструкции и боевой эффективности): учеб. Кн. 1; науч. ред. О. А. Лосик и др. – М.: ВА БТВ, 1983. 568 с.
9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М., 1968. 720 с.
10. Korolev, V. M., Rudenko, K. V. and Koroleva, O. V. (2009), "Otsinka pokhybok vyznachennya koordynat i vektora shvydkosti tsili z rukhomoho ob'yekta" [Estimation of errors of determination of coordinates and velocity vector of a target from a moving object], *Coll. sciences add VII International conf. "Gyro technology, navigation, traffic control and space technology design". V.1, NTUU "Kyiv Polytechnic Inst."*, pp. 210-215.
11. Korolev, V. M., Rudenko, K. V. and Korolev, O. V. (2009), "Matematychna model' otsinky pokhybok zovnishn'oho tsilevkazuvannya pry vykorystanni dodatkovoho vymiryuvannya vidstani" [Mathematical model of estimation of external estimation errors with the use of additional distance measurement], *Systems of armament and military equipment*, No. 2 (18), pp. 88-91.
12. Zeiler, M. (2004), "Modelirovaniye nashego mira: Rukovodstvo ESRI po proyektirovaniyu bazy geodannykh" [Modeling our world: ESRI's Guide to Designing a Geodatabase], JV Ltd. Date+, M., 254 p.
13. Shipulin, V. D. (2011), "Posibnyk z navchannya roboti z kadaastrovo-reyestratsiynoyu systemoyu" [Training manual on work with the cadastral registration system], Neohrafika, K., 439 p.
14. Scientific ed. Losik, O., etc. (1983), "Tanki (osnovy teorii, konstruksii i boyevoy effektivnosti): ucheb. Kn. 1" [Tanks (the basics of theory, structure and combat effectiveness): a textbook. B.1], Military Acad. of Armored Troops, M., 568 p.
15. Korn, G. and Korn, T. (1968), "Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov" [Handbook of Mathematics for Researchers and Engineers], Nauka, M., 720 p.

Відомості про авторів:

Мочерад Володимир Степанович

кандидат технічних наук
науковий співробітник науково-дослідного відділу (моделювання бойових дій) Наукового центру Сухопутних військ Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7408-7661>
e-mail: mocherad@ukr.net

Дубно Михайло Володимирович

начальник науково-дослідної лабораторії факультету бойового застосування військ Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3192-0382>
e-mail: mocherad@ukr.net

Колесник Владислав Олександрович

старший науковий співробітник
Наукового центру Сухопутних військ Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5257-3124>
e-mail: mocherad@ukr.net

Задорожний Володимир Павлович

науковий співробітник науково-дослідної лабораторії факультету бойового застосування військ Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1134-3928>
e-mail: mocherad@ukr.net

REFERENCES

1. Vaskivsky, M. I. and Tkachenko, V. A. (2011), "Avtomatyzatsiya pidhotovky postrilu na osnovi danykh pro taktychnu sytuatsiyu" [Automation of shot preparation based on tactical situation data], *Col. of scientific works of the Center for military-strategic researches of the Nat. Defense Univ. of Ukraine*, No. 3 (44), pp. 85 -94.
2. Mocherad, V. S. (2013), "Ranzhyruvannya vyvavlenykh tsiley informatsiyno-keruyuchoyu systemoyu upravlinnya vohnem tanka" [Ranking of identified targets by the information-control system for controlling the fire of a tank], *Col. of scientific works of the Central Scientific-Research Inst. of Internal Affairs of the Armed Forces of Ukraine*, No. 1 (56). pp. 72-88.
3. "Pravyly stril'by z tankiv" [Rules of firing from tanks], The Combined Training Command of the Land Forces of the Armed Forces of Ukraine. (2008), Publ. house of the Ministry of Defense of Ukraine, K., 112 p.
4. Korolev, V. M., Rudenko, K. V. and Koroleva, O. V. (2009), "Otsinka pokhybok vyznachennya koordynat i vektora shvydkosti tsili z rukhomoho ob'yekta" [Estimation of errors of determination of coordinates and velocity vector of a target from a moving object], *Coll. sciences add VII International conf. "Gyro technology, navigation, traffic control and space*

Information about the authors:**Volodymyr Mocherad**

Candidate of Technical Sciences
Research Associate of the Scientific Research Department
(Modeling of Combat Actions) of the Ground Forces Scientific
Center of the Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,
Lviv, Ukraine, Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7408-7661>
e-mail: mocherad@ukr.net

Mykhailo Dubno

Chief of Research Laboratory of Combat Arms faculty of the
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv,
Ukraine, Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3192-0382>
e-mail: mocherad@ukr.net

Vladyslav Kolesnyk

Senior Researcher Associate of the Scientific Research Department
(Modeling of Combat Actions) of the Ground Forces Scientific
Center of the Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,
Lviv, Ukraine, Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5257-3124>
e-mail: mocherad@ukr.net

Volodymyr Zadorozhnyi

Research Associate of Research Laboratory of Combat Arms
faculty of the Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy,
Lviv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1134-3928>
e-mail: mocherad@ukr.net

Стаття надійшла до редколегії 17.07.2019 р.

Рецензент О. М. Купріненко, д-р техн. наук, с.н.с.
(Національна академія сухопутних військ
імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів)

Рецензент М. І. Васьківський, д-р техн. наук,
професор
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-2430-8478>

УДК 629.13 (075.8)

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3\(23\).46-52](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3(23).46-52)**М. Г. ГРУБЕЛЬ,**

кандидат технічних наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0002-4820-6935>
 (Національна академія сухопутних військ
 ім. гетьмана П. Сагайдачного, м. Львів)

Л. В. КРАЙНИК,

доктор технічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0002-0524-9126>

М. Ф. БОДНАР,

кандидат технічних наук, асистент
<https://orcid.org/0000-0003-3377-8209>
 (Національний університет "Львівська
 політехніка", м. Львів)

Оцінка тягово-швидкісних характеристик військової автомобільної техніки за умов руху бездоріжжям методами імітаційного моделювання

Проведено аналіз відомих досліджень і методик комп'ютерного моделювання руху та оцінки прохідності повноприводних автомобілів в умовах бездоріжжя. Відомі теоретичні дослідження базуються на отриманих емпіричних характеристиках різних типів опорної поверхні за різних ступенях насиченості ґрунту вологою – модуля деформації. У країнах НАТО аналогічні дослідження та оцінка прохідності ВАТ базуються на оцінці несних властивостей опорної поверхні на основі емпіричного визначення т. зв. конусного індексу VCI (Vehicle Cone Index). Враховуючи методичні відмінності в оцінці прохідності радянською і західною науковими школами, акцентовано увагу на необхідності оцінки даного аспекту за допомогою комп'ютерного моделювання. Опрацьовано алгоритм оцінки прохідності – моделювання руху у середовищі імітаційного моделювання динамічних систем Simulink програмного комплексу MATLAB.

Ключові слова: бездоріжжя, прохідність, повноприводний автомобіль, імітаційне моделювання

Проведен анализ известных исследований и методик компьютерного моделирования движения и оценки проходимости полноприводных автомобилей в условиях бездорожья. Известные теоретические исследования базируются на полученных эмпирических характеристиках разных типов опорной поверхности при разных степенях насыщенности грунта влажностью – модуля деформации. В странах НАТО аналогичные исследования и оценка проходимости ВАТ базируются на оценке несущих свойств опорной поверхности на основе эмпирического определения конусного индекса VCI (Vehicle Cone Index). Учитывая методические различия в оценке проходимости советской и западной научных школ, акцентировано внимание на необходимости оценки данного аспекта при помощи компьютерного моделирования. Проработано алгоритм оценки проходимости – моделирования движения в среде имитационного моделирования динамических систем Simulink программного комплекса MATLAB.

Ключевые слова: бездорожье, проходимость, полноприводный автомобиль, имитационное моделирование

ВСТУП

Кардинальні зміни характеру сучасних воєн з переходом від класичних збройних протистоянь до гібридного, що особливо яскраво проявилось у війнах в Іраку, Афганістані, а також під час активних бойових зіткнень на Сході нашої держави, зумовили відповідні тенденції та кардинальні зміни у типажах військової автомобільної техніки (ВАТ). Перш за все значно зросли вимоги щодо покращення тягово-швидкісних властивостей як повноприводних військових автомобілів транспортного (тилового) забезпечення, так і бойових броньованих машин (ББМ). За таких умов методологія формування типуажу повинна враховувати також його динаміку руху та формування прохідності за умов бездоріжжя.

Враховуючи основне призначення автомобіля, під прохідністю слід розуміти не тільки забезпечення його рухомості, але й здатність виконувати корисну роботу у визначених конкретних умовах експлуатації з найбільшою ефективністю. Це означає, що у заданих умовах автомобіль повинен виконувати свої функції у найкоротший час і з найменшими затратами. Отже, прохідність автомобіля є комплексним показником, що характеризує рухомість і економічність.

Для збільшення прохідності у важких дорожніх умовах до конструкції автомобіля висуваються конкретні вимоги, метою яких є зменшення опору рухові або збільшення тягово-зчіпних якостей. Поряд із цим покращення прохідності автомобіля погіршує його економічні показники при використанні дорогами з твердим покриттям. Однак автомобілі, які застосовуються у збройних силах (ЗС) для виконання різних завдань, особливо у районах розміщення підрозділів у бойових порядках військ, обов'язково повинні мати високу прохідність. Це пояснюється тим, що виконання ними завдань здійснюється в основному дорогами зі слабкою несною здатністю та бездоріжжям. Враховуючи методичні відмінності в оцінці прохідності радянською і західною науковими школами, потрібно акцентувати увагу на необхідності оцінки даного аспекту за допомогою комп'ютерного моделювання, оскільки такий підхід дає можливість більш повно і точно оцінити параметри руху у складних умовах. Очевидна актуальність оновлення парку ВАТ для ЗС України у сучасних умовах обумовлює необхідність відповідних науково-дослідних робіт у цій сфері, яким в Україні з часів СРСР не надавалось відповідного пріоритету і розвитку.

Базова наукова школа у цій сфері, за винятком давніх поодиноких вітчизняних досліджень [1, 2], і досі з часів СРСР (СНД) сконцентрована у Росії. Також можливо констатувати суттєву активізацію у цій сфері за останні 10-15 років [3-7], обумовлену особливою актуальністю проблеми прохідності ВАТ за умов руху бездоріжжям (театру "гібридних воєн" – мережецентричних військових конфліктів) та тенденцій переходу сучасних армій на нове покоління ВАТ з покращеними тактико-технічними характеристиками.

Метою статті є формування алгоритму моделювання руху автомобіля за умов бездоріжжя з урахуванням сучасних досліджень, що практично стане основою для подальшого розвитку методології формування прохідності ВАТ.

Моделювання – розрахунок параметрів руху повноприводних автомобілів опорними поверхнями, що

деформуються (бездоріжжя), суттєво відрізняються від класичного розрахунку параметрів руху автомобільними дорогами з твердим покриттям і обумовлює принаймні двомірну динамічну еквівалентну систему, у т.ч. з врахуванням не тільки деформації шин, але і деформації опорної поверхні (зрізу ґрунту і додатковий опір рухові, а також і вплив коливань) зміни вертикальних навантажень на шину під впливом коливань автомобіля під час руху макро- і мікронерівностями бездоріжжя. Слід зазначити, що у Росії (СНД) теоретичні дослідження і практичне проектування ВАТ базуються на отриманих емпіричних характеристиках різних типів опорної поверхні (суглинок, пісок, чорнозем і т.д.) при різних ступенях насиченості ґрунту вологою – модуля деформації (несучої здатності масиву ґрунту – опорної поверхні) [1-7]. У країнах НАТО аналогічні дослідження та оцінка прохідності ВАТ базуються на оцінці несучих властивостей опорної поверхні на основі емпіричного визначення т. зв. конусного індексу VCI, введеного інженерним корпусом армії США ще у період Другої світової війни [8-10]. Враховуючи нещодавню появу досліджень щодо взаємного переходу значень модуля деформації E та конусного індексу переходу VCI [11, 12] і наявність достатньої емпіричної бази щодо характеристик ґрунтів, в Україні власне з приведення до значень модуля [13] моделювання руху ВАТ опрацьовано на базі варіації значення E з відповідним приведеним на базі кореляційних залежностей до відповідних значень VCI, як стандартизованого показника в арміях НАТО [14, 15]. У розвиток спрощеної моделі [16] та вітчизняних досліджень [17] на базі відомих сучасних досліджень [18, 19] опрацьовано, враховуючи сучасний розвиток програмного комп'ютерного забезпечення під Simulink програмного забезпечення MATLAB динамічну еквівалентну модель автомобіля типу 4x4 (рис. 1).

Остання передбачає чотири основні складові підпрограми:

моделювання – розрахунок взаємодії шини та опорної поверхні з розрахунком деформації шини і деформації ґрунту – оцінки опору рухові “WHEEL”;

моделювання – розрахунок поздовжньо-вертикальних коливань автомобіля під впливом макро- і мікропрофілю опорної поверхні – визначенням відповідних коливань величини вертикальних навантажень у контакті шини з опорною поверхнею і відповідного впливу на зчеплення та пробуксовування шини “TERRA”;

моделювання – розрахунок режимів роботи силового приводу – від двомірного інтерполювання режиму

роботи двигуна, фіксації – вибору відповідної передачі у трансмісії до врахування впливу диференціалів у трансмісії на формування тягового зусилля у контакті шини з опорною поверхнею “ENGINE”;

моделювання – розрахунок тягово-швидкісних характеристик і витрати палива руху автомобіля у цілому з обмеженням потенційної максимальної швидкості із умов граничних віброприскорень “VEHICLE”.

При цьому у базовий алгоритм моделювання закладено:

розрахунок додаткового опору рухові і відповідно додаткових затрат енергії та деформації (зрізу ґрунту) опорної поверхні на підставі наявних емпіричних характеристик ґрунтів (піщаних поверхонь) в Україні [2,17] та відповідно використання модуля деформації ґрунту E , а не транспортного показника прохідності VCI (англ. – Vehicle cone index), прийнятого у західній науковій школі [11, 12];

переборення штучних перешкод рухові (канав, ескарпів, порогових перешкод) є окремим етапом розвитку базової моделі і тут не розглядаються;

алгоритм вибору режиму роботи двигуна і передачі у механічній коробці передач задається оператором, у т.ч. метод перебору можливих варіантів. У моделі не розглядаються варіанти з гідрооб'ємною чи гідромеханічною трансмісією, що є предметом окремих досліджень.

В основу розрахунку взаємодії шини з опорною поверхнею покладено наявність плоскої та криволінійної поверхонь контакту [4].

Деформація шини

$$q = \pi \times h \times \frac{(P_w + P_o)}{2B} \times \left[\frac{B}{H} + \frac{3H}{2B} \right] \times \left(1 - \frac{h}{B} \right), \quad (1)$$

де q – тиск у плоскій зоні контакту, h – деформація шини; P_w – внутрішній тиск у шині; P_o – тиск у контакті при $P_w = 0$; B – ширина профілю шини; H – висота профілю шини.

Деформація ґрунту (з врахуванням швидкості руху і фільтраційної реакції ґрунту)

$$q_r = q_{cr} \times \frac{1}{1 + \frac{0,5V_a}{\varphi_0 L}}, \quad (2)$$

де L – довжина поверхні контакту, V_a – швидкість автомобіля, φ_0 – кут внутрішнього тертя у ґрунті, q_{cr} – статична деформація при $V_a = 0$ і співвідношення q та E .

Максимальна питома сила опору зрізу (зсуву) ґрунту

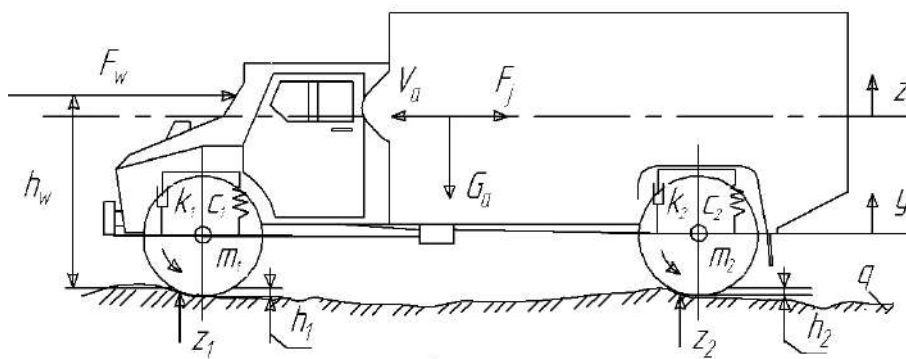


Рис. 1. Динамічна еквівалентна схема двовісних автомобілів при русі опорною поверхнею, що деформується

$$\tau_{max} = q_r \times \tan \varphi_0 + C_0, \quad (3)$$

де C_0 – внутрішнє зчеплення у ґрунті.

Узагальнені статистичні дані відповідних параметрів опорних поверхонь бездоріжжя, що характерні для України, представлено у табл. 1 на базі узагальнення даних [3, 4, 11, 12] і проведеного авторами перерахунку значень E у еквівалентні показники прохідності конусному індексу CI (англ. – Cone index).

Опускаючи отримані відповідно відомі [3, 4] залежності з формування колії і площі контакту шини з опорною поверхнею з врахуванням плоскої та кривої площин, однак без т. зв. бульдозерного чи ескаляційного ефектів при частковому пробуксовуванні колеса коефіцієнт опору коченню шини можна визначити, як

$$f_u = 1,75 P_1 \psi_1 h^2 \times (B^2 + 1,5 H^2) \frac{(B - 0,3h)}{P_z H B^2}, \quad (4)$$

де ψ_1 – коефіцієнт гістерезисних втрат у шині, P_1 – відношення тиску від жорсткості шини до сумарного тиску у контактній шини з опорною поверхнею; P_z – вертикальне навантаження на колесо.

Аналогічно визначаємо коефіцієнт опору ґрунту – опору утворення колії [4]

$$f_r = q_1 h_i 0,5 \xi \times \frac{B + B_k}{F_z}, \quad (5)$$

де ξ – коефіцієнт нерівномірності тиску у криволінійній площині контакту шини з опорною поверхнею, h_i – глибина колії, B_k – ширина колії, B – ширина протектора, F_z – площа плями контакту.

Втрати енергії (додатковий опір рухові) через пробуксовування колеса при перевищенні тягового зусилля сили зчеплення шини оцінюються на базі коефіцієнта буксування

Таблиця 1

Статистичні значення параметрів ґрунтових поверхонь, що за результатами аналізу характеризують деформацію та зчпні властивості

№ з/п	Параметри, види і стани опорних поверхонь	E , МПа	H_z , см	φ_0 , град	C_0 , МПа	CI , МПа	
1	2	3	4	5	6	7	
1.	Зв'язні ґрунти						
	Глина:						
	тверда	>50,0	∞	18 – 22	0,05 – 0,1	>7,14	
	м'яка пластична	10 - 50	∞	11 – 18	0,02 – 0,05	1,43-7,14	
	текуча пластична	9,0 - 10,0	20 - 60	7 – 11	0,01 – 0,02	1,29-1,43	
	текуча	0,5 - 3,0	5 - 25	3 – 7	0,003 – 0,01	0,07-0,43	
	Суглинок:						
	твердий	>35,0	∞	21 – 25	0,03 – 0,06	>9	
	м'який пластичний	8,0 - 35,0	∞	16 – 21	0,015 – 0,03	1 - 9	
	текучий пластичний	3,0 - 8,0	20 - 70	12 – 16	0,008 – 0,015	0,4 - 1	
	текучий	0,5 - 3,0	5 - 20	8 – 12	0,004 – 0,008	0,3 – 0,4	
	Легкий суглинок:						
	твердий	>25,0	∞	24 – 28	0,02 – 0,05	>5,67	
	м'який пластичний	7,0 – 25,0	∞	19 – 24	0,01 – 0,02	0,9 – 5,67	
текучий пластичний	2,0 – 7,0	20 - 80	16 – 19	0,005 – 0,01	0,4 – 0,9		
текучий	0,5 – 2,0	5 - 20	12 – 16	<0,005	0,3 – 0,4		
2.	Незв'язні ґрунти						
	Пісок:	Для глибини колії 0,1 – 0,2 м.					
	неущільнений	2,0 – 5,0	-	30 – 38	<0,002	0,013 – 0,03	
ущільнений	10,0	-	36 – 43	0,002 – 0,008	0,74-1,2		
3.	Заболочені ґрунти						
	Торф'яні:			$\tan \varphi_0$			
	неущільнені	0,2 - 0,5	-	0,1–0,2	0,01 – 0,02	0,18-0,44	
	осушені, або ущільнені	0,5 - 1,0	-	0,2–0,4	>0,02	0,44-0,88	
Сапропелеві, намулові (ілісті) неущільнені	0,1 - 0,2	-	0,01	<0,01	0,09-0,18		
4.	Снігові покриття						
	Сніг:	ρ , кг/м ³		$\tan \varphi_0$			
	свіжий	150–200	0,2 – 1,0	-	0,25–0,4	0,0001–0,001	0,01
	осівший	200–300	0,5 – 2,0	-	0,3–0,5	0,001 – 0,01	0,025-0,03
фірн	240–350	2,0 – 4,0	-	0,3–0,4	0,008 – 0,015	0,04	

$$S_{\sigma} = \frac{0,5}{\left\{ E_1 L \left[\frac{P_z}{(P_1 + P_z f_z) q} - \left(\frac{1}{q \tan\left(\frac{U_0}{57,3}\right) + C} \right) \right] \right\}}, \quad (6)$$

де $E_1 = (22,5 \frac{C}{10^6} + 0,1 \times 10^6)$

E_1 – модуль зсуву ґрунту, P_1 – поздовжня сила, що діє на колесо (тягова сила); L – довжина поверхні (плями) контакту, U_0 – передатне число головної передачі.

Враховуючи методичні відмінності в оцінці прохідності російською (радянською) [1-7] і західною [8-10] науковими школами щодо врахування зрізу ґрунту висутпами протектора шини, утворення т. зв. бульдозерної зони контакту на базі емпіричних залежностей, що фактично не враховують рисунок, а не тільки висоту виступів протектора шини та появу комп'ютеризованих методик розрахунку взаємодії шини з ґрунтом/піском на базі більш точного методу скінчених елементів (МСЕ) [18, 19], на даному етапі допускаємо можливість оцінки даного аспекту в окремій підпрограмі.

Природньо, що стосовно двовісного автомобіля 4x4 з умов збігу передньої і задньої осей умови взаємодії шин другої осі з опорною поверхнею є відмінними, і розрахунок сил у контакті шин передньої і задньої осей виконується роздільно з врахуванням ефекту попереднього ущільнення поверхні для коліс задньої осі згідно з відомими емпіричними залежностями [3, 4, 8, 9].

Реальне бездоріжжя не є рівною поверхнею, що деформується. Відповідно неминує коливання підресорених мас під дією вертикальних навантажень реакцій z_1 і z_2 (рис. 1). Також очевидні відповідні зміни, як деформацій ґрунту і шини, так і глибини колії внаслідок відповідних коливань підресорених і непідресорених мас автомобіля та профілю поверхні як випадкової функції $g(t)$.

Для двомірної моделі (рис. 1) прийняті залежності взаємозв'язку переміщень z підресореної маси автомобіля та висоти нерівностей опорної поверхні [20].

$$\frac{z}{q} = \sqrt{\frac{(C_{II} C_{III} - K_a K_{III} V_a^2) + (K_a C_{III} + K_{III} C_{II})^2 V^2}{\Delta}}, \quad (7)$$

де

$$\Delta = [MmV^2 - (MC_{II} + mC_{II} + MC_{III} + K_a K_{III})V_a^2 + C_n C_{III}]^2 + [V(K_a C_{III} + K_{III} C_n) - (MK_a + MK_{III} + mK_a)V_a^3]^2, \quad (8)$$

де M , m – відповідно підресорена і непідресорена маси автомобіля, C_{II} , C_{III} – жорсткі підвіски і шини (радіальна) K_a , K_{III} , – коефіцієнти демпфування підвіски, амортизатора та ресор за наявності та шин.

З врахуванням деформації опорної поверхні (ґрунту, піску) у (7), (8) враховуються приведені жорсткість і демпфуючі характеристики C_{III} і K_{III}

$$C_{III} = \frac{C_{III} \times C_r}{C_{III} + C_r}; K_{III} = \frac{F_z h_k (1 - \rho) \xi_1 + F_z h_k \frac{\psi_1 P_1 \xi_2}{P + P_1}}{4V_a (h_{III} + \rho h_k)^2}, \quad (9)$$

де F_z – вертикальне навантаження на колесо, h_k – висота (глибина) колії; ρ – частка пружної деформації ґрунту; ξ_1 , ξ_2 – емпіричні коефіцієнти врахування кривизни характеристик деформування ґрунту і шин.

Відповідно динамічна складова вертикального навантаження на шину наближено визначається масою навантаження на вісь і прискоренням вертикального переміщення колеса, додатного чи від'ємного залежно від напрямку переміщення/ходу підвіски.

Завданням моделювання руху – оцінки прохідності автомобіля за умов бездоріжжя практично є визначення і максимально можливої швидкості руху, що задається відповідно підібраними режимами роботи двигуна та трансмісії (вибору відповідних передач і навантажувального і швидкісного режимів роботи двигуна – з умов обмеженої сили зчеплення шин з опорною поверхнею, а це далеко не завжди робота двигуна з максимальною паливоподачею). Окрім цього, на технічно можливу максимальну швидкість руху у конкретних умовах покладається обмеження з умов допустимого рівня віброколивних навантажень на водія і екіпаж, насамперед у вагомій для умов бездоріжжя низькочастотному спектрі коливань кузова автомобіля (сидіння водія) у зоні 1 – 32 Гц. Згідно з рекомендаціями [21] величини середньоквадратичних прискорень (на сидіння водія) з врахуванням коефіцієнтів значимості частот (табл. 2) не повинні перевищувати 0,25g, як межа стійкого збереження працездатності та гранично допустимими короткочасовими до 2 годин за добу перевантаженнями до 0,4g. Для одиночних ударних навантажень – не більше 3g. Двомірне моделювання дозволяє паралельно розрахунок руху автомобіля заданим профілем опорної поверхні $q(t)$ здійснювати і оцінку-розрахунок вертикальних віброприскорень на сидінні водія (з врахуванням пружно-демпфуючих характеристик C_c та K_c самого сидіння під дією навантаження еталонного водія масою 75 кг, прийнятого у нормативній базі галузі) – але у даному випадку з приведенням до еквівалентного центру мас h_p , що однак суттєво понижує реальний рівень віброприскорень на водія, розміщеного у передній частині автомобіля.

Таблиця 2

Значимість спектру частот коливань у формуванні вібронанавтаження на водія, екіпаж

Частоти октав, Гц	1-2	2-4	4-8	8-16	16-32
Коефіцієнт вагомості а	0,60	0,85	1,0	0,71	0,35

де середньо квадратичне прискорення на тіло водія

$$\left(\frac{d^2 z}{dt^2} \right) = \sqrt{\sum_{i=1}^n z_i^2 a_i^2}. \quad (10)$$

Суттєво складнішим з умов комп'ютерного моделювання руху є вибір навантажувальних і швидкісних режимів роботи силового приводу, що забезпечує максимальну (з умов зчеплення шин і вібронанавтаження водія екіпажу) швидкість руху. Задання характеристики двигуна у вигляді двомірного масиву з наступним інтерполяванням робочого режиму [16] дозволяє визначити відповідні тягові і паливно-швидкісні параметри роботи двигуна (при заданій передачі в трансмісії). Однак

визначення відповідної передачі в трансмісії (включно і роздавальну коробку) на заданому етапі дослідження віднесено до компетенції оператора-дослідника (природно з можливого перебору декількох варіантів для проходження конкретної ділянки бездоріжжя з відомими характеристиками (табл. 1)).

ВИСНОВКИ

Опрацьований алгоритм моделювання руху за умов бездоріжжя практично є основою для подальшого розвитку методологічних засад формування прохідності колісної ВАТ щодо:

врахування неоднорідності характеристик опорної поверхні по правому і лівому борту машини і відповідного формування 3D-моделі, включно з врахуванням роботи і характеристик міжколісних диференціалів;

можливості долання одиноких, у т. ч. штучних, значних перешкод – оцінка прохідності гранично можливих їхніх геометричних характеристик (висоти вертикальної порогової перешкоди, ескарпу, глибини і ширини рову і т.д.);

можливості здійснення маневрування та оцінки критичних радіусів повороту, в т.ч. при русі косогороми та ухилами;

можливості долання водних перешкод (річок-розливів, струмків у весняно-осінній період та оцінки граничних характеристик різних типів дна водойм, що практично не вивчені).

Також, опрацьовані методологічні засади дозволяють оцінити прохідність зразка ВАТ, як на етапах проектування, розробки та виготовлення, так і під час експлуатації у конкретних чи типових умовах руху.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- Безбородова Г. Б. Исследование проходимости автомобилей: дис. ... д-ра технических наук. Киев: КАДИ, 1969. 483 с.
- Кошарный Н. Ф. Техничко-экономические свойства автомобилей высокой проходимости. Киев: Вища школа, 1981. 208 с.
- Ларин В. В. Методы прогнозирования и повышения опорной проходимости многоосных колесных машин на местности: дис. ... д-ра технических наук. М.: МГТУ, 2007. 432 с.
- Вольская Н. С. Разработка методов расчета опорно-тяговых характеристик колесных машин по заданным дорожно-грунтовым условиям в районах эксплуатации: дис. ... д-ра технических наук. М.: МГТУ, 2008. 432 с.
- Горелов В. А., Когиев Г. О. Моделирование прямолинейного движения полноприводной колесной машины по связным грунтам. Сб. тр. НАМИ, 2009, №2 (41). С. 25-39.
- Усиков В. Ю. Разработка математической модели движения автомобиля многоцелевого назначения по деформированному грунту с учетом вариации воздействия на колеса внешних факторов. Омский научный вестн., Омск, 2015, №3 (143). С. 197-202.
- Вольская Н. С., Левенков Я. Ю., Чичекин И. В., Захаров Н. Ю. Новые методы расчета проходимости колесных машин на стадии проектирования. М.: Инженерный вестн., 2016, №12. С. 16-21.
- Wong, Y. J. Theory of ground vehicle. Mc-GrawHill Book Comp., London – NewYork, 1993. 423 p.
- Wong, Y. J. Terramechanics and off road vehicle engineering. Second Ed. Butterworth – Hannemann, 2010, London. 482 p.
- Taghavifar, Hamid, Mardani, Aref (2017). Off-road Vehicle Dynamics. Analysis, Modelling and Optimization. Режим доступа: <https://www.springer.com/br/book/9783319425191>.
- Хитров Е. Г., Григорьев Г. В., Дмитриева И. Н., Ильющенко Д. А. Расчет конусного индекса по величине модуля деформации лесного почвогрунта. Системы. Методы. Технологии. СПб, 2014. №4(24). С. 127-131.
- Хитров Е. Г., Хахина А. М., Лухминский В. А., Казаков Д. П. (2017). Исследование связи конусного индекса и модуля деформации различных типов грунтов. *Resources and technology* No. 14(4) pp. 1-16. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-svyazi-konusnogo-indekasa-i-modulya-deformatsii-razlichnyh-tipov-gruntov>.
- Ребров О. Ю. Аналіз відповідності максимального тиску на ґрунт тракторної шини агроекономічним вимогам ймовірнісним методом з урахуванням ґрунто-кліматичних умов України. Вісн. НТУ “ХПІ”, 2017. №14(1236). С. 58-64.
- Larminie, J. C. (1988). Gelaendegaengigkicit von Militaerfahrzeugen. Wehrrevue, No 4. S. 78-91.
- Lutz, J. (2003). Mobility of Ground Vehicles: US military view a overview primer and reference source guide. Quest Systems Inc. 101 p.
- Крайник Л. В., Грубель М. Г. Багатофакторна оцінка та нормування паливної економічності вантажних автомобілів: монографія, Львів: АСВ, 2010. 117 с.
- Мищенко Я. С., Купріненко О. М. Експериментальні дослідження процесу взаємодії рушіїв броньованих машин з ґрунтовими поверхнями, що деформуються. Військово-технічний зб. Львів: НАСВ, 2016. № 14. С. 26 – 31.
- Shoop, S., Kestler, K. and Haehned, R. (2006). Finite element modelling of tires on snow. *Science and Technology*. Vol. 34. No. 1. Pp. 2-37.
- Вольская Н. С., Жилейкин М. М., Захаров А. Ю. Математическая модель прямолинейного движения эластичного колеса по неровному деформируемому опорному основанию. Изв. высших учебных заведений. М.: Машиностроение, 2017. № 10(691). С. 25-33.
- Вольская Н. С. Оценка проходимости колесной машины при движении по неровной грунтовой поверхности. М.: МГИУ, 2007. 215 с.
- Агейкин Я. С., Вольская Н. С. Динамика колесной машины при движении по неровной грунтовой поверхности. М.: МГИУ, 2003. 124 с.

REFERENCES

- Bezborodova, N. V. (1969), “*Issledovanie prokhodimosti avtomobilei*” [Automobiles passability research]. Doctor’s thesis. K., 483 p. [in Russian].
- Kosharnyj, N. F. (1981), “*Tekhniko-ekonomicheskie svojstva avtomobilej vysokoj prokhodimosti*” [Technical and economic properties of vehicles with high passability], Vyshcha shkola, K., 208 p.

3. Larin, V. V. (2007), “*Metody prognozirovaniya i povysheniya opornoj prokhozimosti mnogoosnykh kolesnykh mashin na mestnosti*” [Methods of reference passability forecasting and increasing for multi-axle wheeled vehicles on the ground]. Doctor’s thesis. M., 432 p. [in Russian].
4. Volskaya, N. S. (2008), “*Razrabotka metodov rascheta oporno-tyagovykh kharakteristik kolesnykh mashin po zadannym dorozhno-gruntovym usloviyam v rajonakh ekspluatatsii*” [Support-traction characteristics calculation methods development for wheeled vehicles based on given road and ground conditions in exploitation areas]. Doctor’s thesis. M., 432 p.
5. Gorelov, V. A. and Kotiev, G. O. (2009), “Modelirovanie pryamolinejnogo dvizheniya polnoprivodnoj kolesnoj mashiny po svyaznym gruntam” [All-wheel drive wheeled vehicle rectilinear motion simulation over cohesive soils], *Proc. of NAMI*, No. 241, P. 25-39.
6. Usikov, V. Yu. (2002), “Razrabotka matematicheskoy modeli dvizheniya avtomobilya mnogotselovogo naznacheniya po deformirovannomu gruntu s uchetom variacii vozdejstviya na kolesa vneshnikh faktorov” [Movement of a multipurpose vehicle on a deformed soil mathematical model development, considering the external factors impact variations on the wheels], *Omsk Scientific Bull.*, No. 3 (143), pp. 197-202.
7. Volskaya, N. S., Levenkov, Ya. Yu., Chichekin, I. V. and Zakharov, N. Yu. (2016), “Novye metody rascheta prokhozimosti kolesnykh mashin na stadii proektirovaniya” [New methods of wheeled vehicles passability calculations at the design stage], *Eng. Bull.*, No. 12, P. 16-21.
8. Wong, Y. J. Theory of ground vehicle. Mc-GrawHill Booh Comp., London – New York, 1993. 423 p.
9. Wong, Y. J. Terramechanics and off road vehicle engineering. Second ed. Butterworth – Hannemann, 2010, London. 482 p.
10. Taghavifar, Hamid, Mardani, Aref. (2017). Off-road Vehicle Dynamics. Analysis, Modelling and Optimization. Available at: <https://www.springer.com/br/book/9783319425191>.
11. Khitrov, E. G., Grigorev, G. V., Dmitrieva, I. N. and Ilyushenko, D. A. (2014), “Raschet konusnogo indeksa po velichine modulya deformatsii lesnogo pochvogrunta” [Calculation of the cone index by the magnitude of the modulus of deformation of the forest soil], *Systems. Methods Technologies*, No. 4(24). Pp. 127-131.
12. Khitrov, E. G., Khakhina, A. M., Lukhminskij, V. A. and Kazakov, D. P. (2017), “Issledovanie svyazi konusnogo indeksa i modulya deformatsii razlichnykh tipov gruntov” [The relationship of the conical index and various soil types deformation modulus research], *Resources and technology* No. 14(4). Pp. 1-16, available at: www.cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-svyazi-konusnogo-indeksa-i-modulya-deformatsii-razlichnykh-tipov-gruntov (accessed 12 July 2017).
13. Rebrov, O. Iu. (2017), “Analiz vidpovidnosti maksimalnogo tysku na grunt traktornoj shyny ahroekonomichnym vymoham imovirnisnym metodom z urakhuvanniam hrunto-klimatichnykh umov Ukrainy” [Analysis of the conformity of maximum pressure on the soil of the tractors tire to the agro-economic requirements by the probabilistic considering the soil-climatic conditions of Ukraine], *Bull. of the NTU “KhPI”*, No. 14(1236). Pp. 58-64.
14. Larminie, J. C. (1988). Gelaendegaengigkeit von Militaerfahrzeugen. *Wehrrevue*, No 4. S. 78-91.
15. Lutz, J. (2003). Mobility of Ground Vehicles: US military view a overview primer and reference source guide. Quest Systems Inc. 101 p.
16. Krainyk, L. V. and Hrubel, M. H. (2010), “Bahatofaktorna otsinka ta normuvannia palyvnoi ekonomichnosti vantazhnykh avtomobiliv” [Multifactor assessment and normalization of lorries fuel efficiency], *ASB. Lviv*, 117 p.
17. Mishchenko, Ya. S. and Kuprinenko, O. M. (2016), “Eksperymentalni doslidzhennia protsesu vzaiemodii rushiiv broniovanykh mashyn z gruntovymy poverhniamy, shcho deformuiutsia” [Experimental research of the mutual engagement of armored vehicles process on the deformed earthed surface], *Military-technical coll.*, No. 14. Pp. 26-31.
18. Shoop, S., Kestler, K. and Haehned, R. (2006). Finite element modelling of tires on snow. *Science and Technology*. Vol. 34. No. 1. Pp. 2-37.
19. Volskaya, N. S., Zhilejkin, M. M. and Zakharov, A. Yu. (2017), “Matematicheskaya model pryamolinejnogo dvizheniya elastichnogo kolesa po nerovnomu deformiruemomu opornomu osnovaniyu” [Mathematical model of the rectilinear motion of an elastic wheel along an uneven deformable support base], *News of higher educational institutions*. No. 10(691). Pp. 25-33.
20. Volskaya, N. S. (2007), “Otsenka prokhozimosti kolesnoj mashiny pri dvizhenii po nerovnoj gruntovoj poverkhnosti” [Assessment of the wheeled vehicle patency when driving on an uneven ground surface], *MGIU, M.*, 215 p.
21. Agejkin, Ya. S. and Volskaya, N. S. (2003), “Dinamika kolesnoj mashiny pri dvizhenii po nerovnoj gruntovoj poverkhnosti” [Dynamics of a wheeled vehicle when driving on an uneven ground surface], *MGIU, M.*, 124 p.

Відомості про авторів:

Грубель Михайло Григорович

кандидат технічних наук, доцент,
докторант штатний науково-організаційного відділу
Національної академії сухопутних військ ім. гетьмана Петра
Сагайдачного,

м. Львів, Україна

orcid.org/0000-0002-4820-6935

e-mail: m.g.grybel@gmail.com

Крайник Любомир Васильович

доктор технічних наук, професор
професор кафедри “Автомобілебудування” Національного
університету “Львівська політехніка”

м. Львів, Україна

orcid.org/0000-0002-0524-9126

e-mail: l.krainyk@gmail.com

Боднар Микола Федорович

кандидат технічних наук, асистент кафедри
“Автомобілебудування” Національного університету
“Львівська політехніка”
м. Львів, Україна
orcid.org/0000-0003-3377-8209
e-mail: bodnarmykola@gmail.com

Mykola Bodnar

Candidate of Sciences, Assistant Lecturer of Automotive
Engineering Department, Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
orcid.org/0000-0003-3377-8209
e-mail: bodnarmykola@gmail.com

Information about the authors:**Mykhailo Hrubel**

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

Льбомыр Крайнюк

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

Стаття надійшла до редколегії 03.06.2019 р.

Рецензент О. З. Горбай, д-р техн. наук

(Національний університет «Львівська політехніка»,
м. Львів)

Рецензент М. І. Васьківський, д-р техн. наук, професор

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

<https://orcid.org/0000-0002-2430-8478>

УДК 623.4.017: 623.437.41

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3\(23\).53-57](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3(23).53-57)

М. О. ШИШАНОВ, доктор технічних наук,
професор, провідний науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0002-7121-3666>

А. О. ВЕРЕТНОВ, ад'юнкт науково-
організаційного відділу

<https://orcid.org/0000-0003-0160-7325>

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

Методичні основи дослідження ремонтпридатності військової автомобільної техніки

У статті проведено дослідження ремонтпридатності військової автомобільної техніки. Запропонована методика визначення ймовірності ураження зразка військової автомобільної техніки від уражаючих дій противника та її вплив на ремонтпридатність ВАТ. Надана оцінка уражаючих дій противника на ремонтпридатність ВАТ. Розглянуті випадки ймовірності ураження ВАТ при контакті засобів ураження зі зразком ВАТ та ймовірність ураження від ударної хвилі великої потужності. Результати оцінки уражаючих дій противника можуть надати можливість розробити організаційно-технічні заходи з удосконалення ремонтної технологічності конструкції зразка та нормативної документації з експлуатації та ремонту військової автомобільної техніки.

Ключові слова: ремонтпридатність; військова автомобільна техніка (ВАТ); технічне обслуговування і ремонт (ТО і Р); випробування; експериментальне дослідження; ймовірність ураження; зовнішні фактори; працездатний стан; ресурс.

В статье проведено исследование ремонтпригодности военной автомобильной техники. Предложена методика определения вероятности поражения образца военной автомобильной техники от поражающих действий противника и его влияние на ремонтпригодность ВАТ. Дана оценка поражающих действий противника на ремонтпригодность ВАТ. Рассмотрены случаи вероятности поражения ВАТ при контакте средств поражения с образцом ВАТ и вероятность поражения от ударной волны большой мощности. Результаты оценки поражающих действий противника могут предоставить возможность разработать организационно-технические мероприятия по совершенствованию ремонтной технологичности конструкции образца и нормативной документации по эксплуатации и ремонту военной автомобильной техники.

Ключевые слова: ремонтпригодность; военная автомобильная техника (ВАТ); техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р); испытания; экспериментальное исследование; вероятность поражения; внешние факторы; работоспособное состояние; ресурс.

ВСТУП

Важливою характеристикою якості та надійності машин є витрати на їх експлуатацію і ремонти, тобто витрати на підтримку і відновлення їх працездатного стану і ресурсу в процесі використання за призначенням [1]. У технічній літературі вказується, що витрати праці і коштів на технічне обслуговування і ремонт машин за час їх експлуатації в 5-10 разів і більше перевищують відповідні витрати на виготовлення. У такому ж приблизно співвідношенні знаходиться і кількість фахівців, зайнятих виготовленням машин, їх обслуговуванням і ремонтом. Наприклад, витрати коштів на технічне обслуговування і ремонт військової автомобільної техніки за 8 років їх експлуатації в 4-5 разів перевищують витрати на їх виготовлення.

При розробці конструкцій машин та їх виготовленні передбачається підтримувати їх працездатний стан і ресурс шляхом проведення певного комплексу робіт, що входять до складу технічного обслуговування і ремонту і, отже, конструкції машин повинні бути пристосовані до цих робіт, причому періодичність останніх і витрати на них треба встановлювати за умови забезпечення оптимального значення ефективності використання машин. Іншими словами, конструкції машин повинні бути ремонтпридатними.

Під ремонтпридатністю [2] розуміють властивість об'єкта, що полягає в пристосованості до попередження і виявлення причин виникнення відмов, пошкоджень і усунення їх наслідків шляхом проведення технічного обслуговування і ремонтів.

Ведення сучасних бойових дій та досвід проведення операції об'єднаних сил на територіях Донецької та Луганської областей свідчить, що використання справної військової автомобільної техніки є важливим елементом виконання бойових завдань Збройних Сил України.

В умовах бойових дій військ військова автомобільна техніка (ВАТ) може виходити з ладу не тільки з експлуатаційних причин, а й від різних уражаючих дій противника.

Для своєчасного та якісного повернення в стрій пошкодженого зразка ВАТ велике значення має тривалість ремонту, трудомісткість робіт, ступінь уніфікації та стандартизації [3, 4].

Мета статті – дослідити вплив уражаючих дій противника на ремонтпридатність військової автомобільної техніки та надати оцінку ймовірності ураження ВАТ.

Будь-які властивості машин проявляються в певних умовах їх використання, тобто в умовах впливу на них деякої сукупності факторів. Значення показників, які оцінюють ті чи інші властивості машин, визначаються не тільки їх конструктивними особливостями, а й зовнішніми факторами, тобто факторами, що характеризують зовнішній вплив. Такими зовнішніми чинниками (їх часто називають експлуатаційними) перш за все є: зміст системи технічного обслуговування і ремонту - види, періодичність, характер і обсяг виконуваних профілактичних робіт; організація і технічна оснащеність служб, які здійснюють технічне обслуговування та

ремонт машин; технологія виконання робіт при технічному обслуговуванні та ремонті.

При розгляді властивостей ремонтпридатності машин доводиться мати справу з великою кількістю факторів різного характеру. Одні з них впливають більше на окремі властивості машин, інші менше.

При дослідженні впливу різних чинників на властивості машини виникають два типи задач:

1) коли необхідно встановити факт суттєвості впливу деякої сукупності факторів на певну властивість машин і розташувати фактори за ступенем їх впливу;

2) коли необхідно встановити вид рівняння зв'язку між характеристиками чинників або їх взаємодій і характеристиками даної властивості машини.

Слід зазначити, що для техніки військового призначення в бойових умовах окрім експлуатаційних факторів характерно і уражаючі дії противника різними засобами боротьби.

Одним з найважливіших факторів, що визначають тривалість бойового використання ВАТ, є її стійкість до вражаючих факторів різних засобів боротьби. У свою чергу, стійкість ВАТ може характеризуватися цілим рядом кількісних характеристик, найважливішою з яких є ураження. Ураження визначає можливість виходу об'єкта з ладу, і побічно – можливість його відновлення і повернення в стрій.

Факт ураження ВАТ означає, що впливом засобів ураження порушена працездатність однієї або декількох складальних одиниць зразка ВАТ, внаслідок чого він припиняє виконання поставленого завдання.

Військова автомобільна техніка може вийти з ладу в результаті пошкодження основних складальних одиниць, пожежі, загибелі екіпажу тощо. Отже, завдання оцінки ураження полягає у визначенні ймовірності переходу зразка ВАТ зі справного стану в один з можливих станів, що виключають його подальше бойове використання.

В умовах бойової діяльності військ військова автомобільна техніка може виходити з ладу від різних засобів боротьби [5]:

- вогню зброї;
- вогню керованих реактивних снарядів;
- вибуху мін, фугасів, бомб;
- впливу ударної хвилі великої потужності тощо.

Майже всі засоби боротьби з ВАТ вимагають безпосереднього контакту засобів ураження зі зразком ВАТ. Винятком може бути ударна хвиля великої потужності, яка володіє великою руйнівною силою. Тому для більшої частини випадків методика визначення ймовірності ураження ВАТ матиме багато спільного. Розглянемо ці випадки:

ймовірність ураження ВАТ при контакті засобів ураження зі зразком ВАТ;

ймовірність ураження ВАТ від ударної хвилі великої потужності.

Ймовірність ураження ВАТ в першому випадку залежить від багатьох факторів, найважливішими з яких є вражаючі властивості застосованих боєприпасів і здатність зразка ВАТ протистояти цим вражаючим

властивостями. Остання обставина дає можливість використовувати в оцінці ураження зразків ВАТ звичайні критерії оцінки ефективності стрільби.

Відомо, що критерієм ефективності стрільби може служити ймовірність ураження цілі, що характеризує, з одного боку, ефективність елемента ураження; з іншого – стійкість, а разом з тим і живучість об'єкта.

Формула для визначення ймовірності ураження цілі $W_{\text{пор}}$ була запропонована академіком А. Н. Колмогоровим [6]:

$$W_{\text{пор}} = P_{\text{mn}} G_{\text{m}}, \quad (1)$$

де P_{mn} — ймовірність попадання в ціль m елементів ураження з n пострілів, зроблених по вказаному об'єкту;

G_{m} — умовний закон ураження, тобто ймовірність ураження цілі за умови, що в неї потрапило m елементів ураження.

Величина P_{mn} у формулі (1) розраховується за основними теоремами теорії ймовірності, частіше за теоремою множення ймовірностей. При розрахунку проводиться порівняння площі проекції цілі і площі розсіювання влучень при стрільбі. Крім того, при цьому враховуються умови ураження.

Попадання в ціль P_{mn} є необхідною, але недостатньою умовою ураження цілі. Достатньою умовою є виникнення пошкодження в зразку ВАТ при попаданні. Ймовірність виникнення пошкодження описується умовним законом ураження [7]. Для визначення умовного закону ураження цілі може бути використана наступна методика.

Вона передбачає, що елемент ураження вже потрапив в зразок ВАТ. Завдання полягає у визначенні характеру пошкоджень і величини завданих збитків. Розглянемо, які можуть бути наслідки події при попаданні елемента ураження в зразок ВАТ і які їхні ймовірності [8-10].

При попаданні елемента ураження в зразок ВАТ можливі наступні результати: елемент ураження потрапив в кабінку автомобіля; елемент ураження потрапив в кузов або змонтоване на автомобіль озброєння; елемент ураження потрапив в моторний відсік автомобіля.

Зазначимо, що величину G_1 (ймовірність ураження одним пострілом) можна представити як величину, яка має відношення площі проекції зразка ВАТ, потрапляння в яку виводить його з ладу $F_{\text{пор}}$, до всієї площі проекції ВАТ на площину розсіювання $F_{\text{обц}}$:

$$G_1 = \frac{F_{\text{пор}}}{F_{\text{обц}}}. \quad (2)$$

Звідси видно, що для оцінки $F_{\text{пор}}$ необхідно знати конструкцію зразка ВАТ, характеристику елемента ураження і, спираючись на експериментальні дані, можна завжди на площі проекції цілі провести межі, які визначають $F_{\text{пор}}$, тобто межі площі, при попаданні в яку уражається якась важлива складальна одиниця зразка ВАТ.

Розглянувши таким чином зразок ВАТ, можна для даного напрямку вогню противника оцінити всі його складові. За сумою складових оцінюється стійкість ВАТ

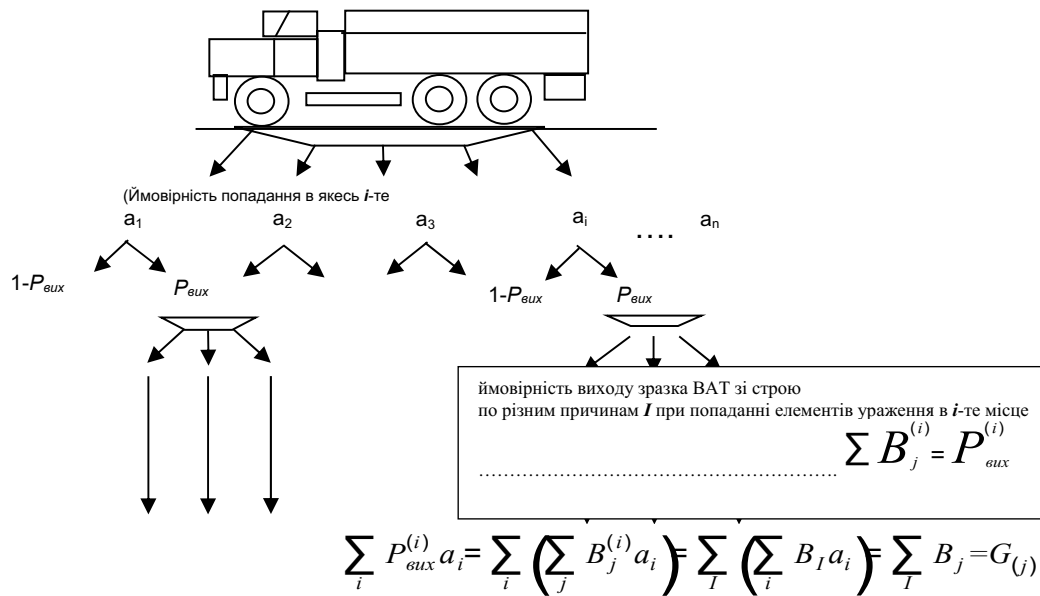


Рис. 1. Схема можливих результатів подій при попаданні елемента ураження в зразок ВАР

в цілому, а по величині окремих складових судять про важливість тієї чи іншої причини і стійкості його окремих складальних одиниць [11].

Величина G_1 , як основний параметр оцінки ураження, може бути прийнятна для всіх засобів ураження, що вимагають безпосереднього контакту засобів ураження зі зразком ВАР. Цілком природно, що цей показник оцінки ураження не може бути прийнятним як оціночний параметр до ударної хвилі великої потужності. В даному випадку необхідний інший показник, що визначає ураження об'єкта без контакту з ним засобів ураження. Таким показником може бути величина вражаючого імпульсу у фронті ударної (вибухової) хвилі.

Відомо, що зразки військової автомобільної техніки можуть виходити з ладу при вибухах потужних бомб, фугасів в безпосередній близькості від них. При цьому від одного вибуху може вийти з ладу кілька машин, оскільки основним вражаючим фактором в даному випадку є вибухова хвиля. Вона завдає пошкодження зовнішній укладці, руйнує прилади спостереження, зв'язку, змонтованого озброєння, а при великому і надмірному тиску перевертає і деформує ВАР. Отже, в даному випадку основним параметром оцінки ураження є величина вражаючого імпульсу у фронті ударної (вибухової) хвилі. Вона визначає радіус ураження, а разом з ним і ураження ВАР.

Визначення можливості ураження даними засобом боротьби також може бути здійснено теоретичним шляхом.

Якщо машини розташовані групою і противник, завдаючи удару, може відразу вразити кілька машин, то за умови рівномірного розміщення зразків ВАР (з площею горизонтальної проекції F_n) на деякій площі F ймовірність ураження кожної з них дорівнює математичному очікуванню відносної площини ураження:

$$W_{nop} = \frac{F_n}{F}. \quad (3)$$

При малому розсіюванні боєприпасів противника R_{nop} (в порівнянні з розмірами розміщення F) математичне сподівання вражаючої площі дорівнює максимальному перекриттю, яке може бути визначено з рівняння:

$$\mu = \frac{\pi R_{nop}^2}{F}. \quad (4)$$

Тоді середня ймовірність ураження кожної машини може бути виражена в залежності від щільності їх розміщення:

$$W_{nop} = \frac{\pi R_{nop}^2 L}{N}, \quad (5)$$

де N — загальна кількість машин;

L — щільність їх розміщення, тобто питома площа, яка припадає на одну машину.

Знаючи кількість машин, розміщених на місцевості, щільність їх розміщення, а також радіус ураження для даної марки машин даними засобом ураження, можна визначити ймовірність ураження для одиничного випадку.

Зауважимо, що якщо противник буде діяти індивідуально по кожному зразку ВАР (тобто машини розосереджені настільки, що противник змушений діяти по кожному з них), то ймовірність ураження ВАР не буде залежати від загальної кількості машин.

У цьому випадку ймовірність ураження кожного зразка ВАР визначається з урахуванням величини радіусу ураження і значень координат розсіювання застосованих засобів ураження. Математично це може бути представлено так [12]:

$$W_{\text{нор}} = 1 - e^{-\frac{R_{\text{нор}}^2 h^2}{E^2}}, \quad (6)$$

де $E = E_x = E_y$ — координати розсіювання;

h — постійний коефіцієнт, що враховує рельєф місцевості і точку застосування засобів ураження (0,3 – 0,5).

В сучасних умовах досить часто можна зустріти таке поєднання потужності уражаючої дії засобів ураження і стійкості ВАТ, коли закон ураження цілі набуває ступінчастого вигляду, тобто в межах певної дальності вибуху від цілі ймовірність ураження зразка ВАТ можна вважати рівною одиниці, а за межами цієї дальності – нулю (рис. 2).

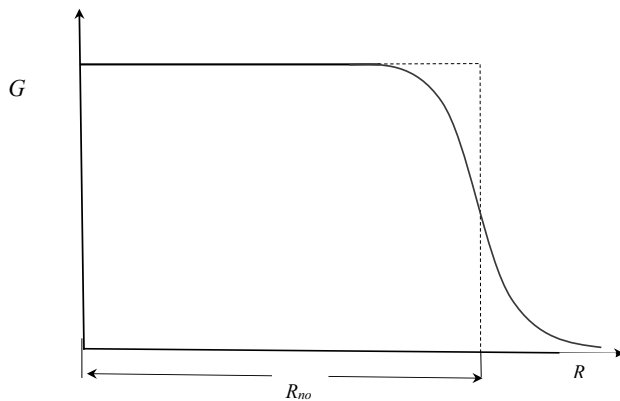


Рис. 2. Ймовірність ураження об'єкта (зразка ВАТ) G при впливі потужного вибуху; R – радіус вибуху

Таку картину можна спостерігати, наприклад, при дії потужного вибуху по точковій цілі. В цьому випадку умови ураження цілі будуть задовольняти всі відхилення точок вибуху, що не перевищують значення $R_{\text{нор}}$. Ймовірність поразки в цьому випадку визначається також за рівнянням (6) зі своїми значеннями $R_{\text{нор}}$, E і h . Радіус ураження цілі конкретними боеприпасами (бойовою частиною ракети, бомбою, міною або фугасом тощо) визначається зазвичай експериментально.

Ймовірність ураження цілі визначається ймовірністю нанесення ураження по частинах машини пробойн, вм'ятин та інших пошкоджень, які викликають вихід з ладу її життєво важливих складових одиниць, що визначають рухливість, захищеність, бойову ефективність озброєння тощо.

Отже, ймовірність ураження військової автомобільної техніки рівнозначна в даному випадку ймовірності виходу з ладу будь-якого агрегату, вузла або системи. На основі ймовірностей пошкодження визначається можлива трудомісткість відновлення машин, розраховуються нормативи і номенклатура возимих запасів автомобільного майна, комплекти ремонтно-технологічної оснастки, розробляються типові технологічні процеси, рухомі засоби технічного обслуговування і ремонту.

ВИСНОВКИ

Таким чином, запропонована методика визначення ймовірності ураження зразка ВАТ повинна обов'язково

враховуватися при обґрунтуванні тактико-технічних вимог до розробки новітніх зразків ВАТ, при дослідженнях ремонтпридатності військової автомобільної техніки, а також при визначенні можливої трудомісткості відновлення машин, розрахунку номенклатури возимих запасів автомобільного майна, розроблення типових технологічних процесів ремонту ВАТ та розробки новітніх рухомих засобів технічного обслуговування і ремонту.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Волков Н. П. Ремонтпригодность машин. М.: Машиностроение, 1975. С. 3-8.
2. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94. Введ. в дію 28 грудня 1994 р. Київ: Держстандарт України, 1994. – 92 с.
3. Шишанов М. А., Мельник Б. А., Кобяков Л. И. Обеспечение восстанавливаемости и ремонтпригодности машин военного назначения. Озброєння та військова техніка. Київ: ЦНДІ ОВТ ЗСУ 2015. №4 (8). С. 67-71.
4. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения Т. 4. Методология исследования сложных систем военного назначения / Шишанов М. А. и др.: монография. Киев: Издательский дом Дмитрия Бурого, 2013. 350 с.
5. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т. 10. Система полигонных испытаний вооружения и военной техники: методологические основы / Шишанов М.А. и др.: монография. Киев: Издательский дом Дмитрия Бурого, 2016. 39 с.
6. Кофман А., Крюон Ф. Массовое обслуживание. Теория и приложение / пер. с фран. М.: Наука, 1975. 120 с.
7. Надежность и эффективность в технике: справочник / под. ред. В. И. Кузнецова и Е. Ю. Барзиловича. Т.8. Эксплуатация и ремонт. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.
8. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и её инженерные приложения. М.: Наука, 1991. С. 145.
9. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т. 9. Прикладные аспекты испытаний и теоретико-экспериментальных исследований вооружения и военной техники / Шишанов М. А. и др.: монография. Киев: Издательский дом Дмитрия Бурого, 2015. 433 с.
10. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. С. 124-127.
11. Половко А. М. Основы теории надежности. М.: Наука, 1964. 206 с.
12. Саати Т. Л. Элементы теории массового обслуживания и ее применения. М.: Сов. радио, 1974. 233 с.

REFERENCES

1. Volkov, N. P. (1975), "Remontpryhodnost' mashyn" [Maintenance of machines], Mashinostroenie, M. P. 3-10.

2. State Standart of Ukraine (1994), “2860-94 Nadiynist' tekhniki. Terminy ta vyznachennya” [2860-94 Reliability of technology. Terms and definitions], K., 92 p.
3. Shishanov, M. A., Melnik, B. A. and Kobayakov, L. I. (2015), “Obespecheniye vosstanavlivayemosti i remontoprigradnosti mashin voyennogo naznacheniya” [Providing recoverability and maintainability of military machines], Arms and military equipment, No. 4(8), pp. 67-71.
4. Shishanov, M. A., etc. (2013), “Osnovy voyenno-tekhnicheskikh issledovaniy. Teoriya i prilozheniya T. 4. Metodologiya issledovaniya slozhnykh sistem voyennogo naznacheniya” [Fundamentals of military technical research. Theory and Applications T. 4. Methodology for the study of complex military systems], Dmitry Burago Publ., K., 350 p.
5. Shishanov, M. A., etc. (2016), “Osnovy voyenno-tekhnicheskikh issledovaniy. Teoriya i prilozheniya. T. 10. Sistema poligonnykh ispytaniy vooruzheniya i voyennoy tekhniki: metodologicheskoye osnovy” [Fundamentals of military technical research. Theory and applications. T. 10. The system of field tests of weapons and military equipment: a methodological basis], Dmitry Burago Publ., K., 39 p.
6. Kofman, A. M. and Kruon, F. P. (1975), “Massovoye obsluzhivaniye. Teoriya i prilozheniy” [Mass service. Theory and Application], Science, M., 120 p.
7. Kuznetsova, I. D. and Barzilovich, E. Y. (1990), “Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike / Spravochnik” [Reliability and efficiency in technology / Handbook], Mashinostroenie, M., 320 p.
8. Wentzel, E. S. and Ovcharov, L. A. (1991), “Teoriya sluchaynykh protsessov i yeye inzhenernyye prilozheniya” [Theory of random processes and its engineering applications], Science, M., 145 p.
9. Shishanov, M. A., etc. (2015), “Osnovy voyenno-tekhnicheskikh issledovaniy. Teoriya i prilozheniya. T. 9. Prikladnyye aspekty ispytaniy i teoretiko-eksperimental'nykh issledovaniy vooruzheniya i voyennoy tekhniki” [Basics of military-technical research. Theory and applications. V. 9. Applied Aspects of Testing and Theoretical Experimental Studies of Weapons and Military Equipment], Dmitry Burago Publ., K., 433 p.
10. Wentzel, E. S. (1969), “Teoriya veroyatnostey” [Probability theory], Science, M., pp. 124-127.
11. Polovko, A. M. (1964), “Osnovy teorii nadezhnosti” [Fundamentals of the theory of reliability], Science, M., 206 p.
12. Saaty, T. L. (1974), “Elementy teorii massovogo obsluzhivaniya i yeye primeneniya” [Elements of queuing theory and its applications], Sow. Radio, M., 233 p.

Відомості про авторів

Шишанов Михайло Олексійович

доктор технічних наук, професор
провідний науковий співробітник
Центрального науково-дослідного інституту озброєння та
військової техніки Збройних Сил України,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-7121-3666>

Веретнов Андрій Олександрович

ад'юнкт (штатний) науково-організаційного відділу
Центрального науково-дослідного інституту озброєння та
військової техніки Збройних Сил України,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0160-7325>
e-mail: andreiveretnov777.7@gmail.com

Information about the authors

Mychailo Shishanov

Doctor of Technical Sciences, Professor
Lead Researcher
Central scientific research institute of armaments and military
equipment of Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7121-3666>

Andrei Veretnov

ad'yunkt (state) of science-organizational activity
Central scientific research institute of armaments and military
equipment of Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0160-7325>
e-mail: andreiveretnov777.7@gmail.com

Стаття надійшла до редколегії 10.07.2019 р.

Рецензент А. В. Гурнович д-р техн. наук (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-2041-4978>

Рецензент О. М. Купріненко д-р техн. наук (Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного)
<https://orcid.org/0000-0001-6692-0959>

УДК 621.396.967

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3\(23\).58-61](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3(23).58-61)

П. М. ФЕДОРОВ, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0003-1359-2757>

В. В. БОГУЧАРСЬКИЙ, кандидат технічних
наук, старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0001-5514-1642>

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

Інтерференційне ослаблення радіолокаційних сигналів Від маловисотних цілей

У статті розглянуто явище інтерференційного ослаблення радіолокаційних сигналів від маловисотних цілей. Показано, що для маловисотних цілей через малість кута ковзання променя, відбитого від земної поверхні, відбувається практично протифазне підсумовування (фактично віднімання) сигналів прямого й відбитого променів, що мають приблизно однакові амплітуди. Результатом цього є значне зниження дальності радіолокаційного спостереження маловисотних цілей. Подано розрахункові відношення для оцінки додаткових втрат енергії сигналу при виявленні маловисотних цілей. Запропоновано просту методику врахування інтерференційних процесів у конкретних умовах радіолокаційного спостереження.

Ключові слова: радіолокаційна станція, інтерференційний множник, маловисотна ціль, додаткові втрати.

В статье рассмотрено явление интерференционного ослабления радиолокационных сигналов от маловысотных целей. Показано, что для маловысотных целей из-за малости угла скольжения луча, отраженного от земной поверхности, происходит практически противофазное суммирование (фактически вычитание) сигналов прямого и отраженного лучей с приблизительно равными амплитудами. Результатом этого является значительное снижение дальности радиолокационного наблюдения маловысотных целей. Представлены расчетные соотношения для оценки дополнительных потерь энергии сигнала при обнаружении маловысотных целей. Предложена простая методика учета интерференционных процессов в конкретных условиях радиолокационного наблюдения.

Ключевые слова: радиолокационная станция, интерференционный множитель, маловысотная цель, дополнительные потери.

ВСТУП

У наземних радіолокаційних станціях (РЛС), антени яких розміщуються в безпосередній близькості до поверхні землі, через інтерференцію прямої й відбитої хвиль утруднено виявлення об'єктів, що перебувають на малій висоті, – маловисотних цілей (МВЦ). До маловисотних цілей відносять як так звані низьколітні цілі, тобто літальні апарати, що здійснюють політ на малій висоті, огинаючи нерівності рельєфу, так і об'єкти, розташовані безпосередньо на земній поверхні, наприклад, автомобілі або кораблі, на значному віддаленні від РЛС.

Для маловисотних цілей характер згасання енергії прийнятого радіолокаційного сигналу значною мірою відрізняється від загально відомого закону зворотної пропорційності відстані в четвертому степені [1], який є типовим для сигналів, відбитих від повітряних цілей, що здійснюють політ на відносно великій висоті. На практиці радіолокаційні сигнали від МВЦ згасають значно швидше, що необхідно обов'язково враховувати при розрахунках дальності дії або потрібного енергопотенціалу РЛС.

Метою даної статті є оцінка додаткових втрат енергії сигналу, що мають місце при радіолокаційному спостереженні маловисотних цілей, для врахування цих втрат при експлуатації або проектуванні радіолокаційних станцій.

Відмінності умов поширення радіохвиль над землею поверхнею від випадку вільного простору, що враховують двопробневий характер підсумкового поля, описують за допомогою інтерференційного множника $L_{\text{инт}}$ [2]:

$$L_{\text{инт}} = \frac{F(\theta_2)}{F(\theta_1)} \sqrt{1 + \rho^2 + 2\rho \cos(\varphi + 2\pi \frac{\delta}{\lambda})}, \quad (1)$$

у якому:

$F(\theta_1)$, $F(\theta_2)$ – значення нормованої амплітудної характеристики спрямованості антени РЛС у площині кута місця в напрямках поширення відповідно прямої й відбитої від земної поверхні хвиль;

$\dot{\rho} = \rho e^{-i\varphi}$ – комплексний коефіцієнт відбиття від земної поверхні, ρ – його амплітуда, φ – його фаза;

$$\delta = \frac{2h_1 h_2}{d} \quad (2)$$

– різниця ходу променів, що залежить від висоти антени РЛС h_1 , висоти цілі над горизонтом h_2 і горизонтальної дальності до цілі d ;

λ – робоча довжина хвилі РЛС.

Модуль і фазу коефіцієнту відбиття в рівнянні (1) розраховують за формулою коефіцієнтів Френеля для плоских хвиль горизонтальної або вертикальної поляризації [3, 4]. Вони залежать від комплексної відносної діелектричної проникності ґрунту $\dot{\epsilon} = \epsilon - i60g\lambda$, де ϵ – відносна діелектрична проникність, а g – питома провідність ґрунту, а також кута ковзання

$$\Psi = \theta_2 = \arctg\left(\frac{h_1 + h_2}{d}\right). \quad (3)$$

Формули (1–3) характеризують процеси інтерференції прямої й відбитої хвиль у моделі плоскої Землі в припущенні дзеркального відбиття від земної поверхні. Згідно із критерієм Релея [1, 3], відбиття від плоскої шорсткої поверхні можна вважати дзеркальними, якщо розміри нерівностей не перевищують величини $\Delta = \frac{\lambda}{16 \sin \Psi}$. При малих кутах ковзання навіть для хвиль сантиметрового діапазону величина Δ має порядок декількох метрів. Це означає, що інтерференційна формула (1) застосовна практично в будь-яких умовах місцевості за винятком сильно пересіченої.

Через інтерференцію прямої хвилі й хвилі, відбитої від земної поверхні, при радіолокаційному спостереженні може відбуватися як «підсилення», так і ослаблення сигналу в порівнянні з випадком вільного простору. Максимального «підсилення» зазнають сигнали від тих точок, для яких пряма й відбита від землі хвилі додаються синфазно, і, відповідно, мінімуми розташовані там, де пряма й відбита хвилі протифазні.

Для МВЦ сума висот антени РЛС і цілі набагато менша за відстань до цілі, тому, згідно формули (3), кут ковзання невеликий і становить десяти-соті частки градуса. Для таких малих кутів ковзання при будь-яких спостережуваних на практиці параметрах ґрунту ε і g модуль коефіцієнта відбиття ρ не сильно відрізняється від одиниці, а фаза коефіцієнта відбиття φ наближається до π .

Так, за даними [4], для цілей, віддалених від РЛС на відстань d , що перевищує величину

$$d_{\pi} = \frac{h_1 + h_2}{\alpha}, \quad (4)$$

фаза коефіцієнта відбиття від плоскої земної поверхні практично не відрізняється від π . Для радіохвиль сантиметрового діапазону коефіцієнт α у формулі (3) дорівнює 0,1 у випадку відбиття від морської поверхні, й, відповідно, 0,3 або 0,45 при поширенні радіохвиль над вологим або сухим ґрунтом [4].

Для маловисотних цілей, величина d_{π} , розрахована за формулою (4), зовсім мала. Тому на відстані від радіолокатора, що становить практичний інтерес, фазу коефіцієнта відбиття від земної поверхні можна з високим ступенем точності вважати такою, що дорівнює π . Крім того, у цих умовах $F(\theta_2) \approx F(\theta_1)$.

З урахуванням цих факторів інтерференційна формула (1) для випадку виявлення МВЦ спрощується до виду:

$$L_{\text{инт}} = 2 \left| \sin \left(\frac{\pi \delta}{\lambda} \right) \right| = 2 \left| \sin \left(\frac{2\pi h_1 h_2}{d \lambda} \right) \right|. \quad (5)$$

Аналізуючи рівняння (5), приходимо до висновку, що синфазне додавання прямої й відбитої хвиль спостерігається для радіолокаційних сигналів від тих точок, у яких різниця ходу променів δ становить непарне число півхвиль. Мінімуми ж сумарного поля спостерігаються там, де геометричні довжини шляхів прямого й відбитого променів відрізняються на парне число півхвиль.

Дальності максимумів $d_{n \max}$ і мінімумів $d_{n \min}$ інтерференційного множника можна розрахувати за допомогою співвідношень:

$$d_{n \max} = \frac{d_{1 \max}}{2n-1}, \quad d_{n \min} = \frac{d_{1 \max}}{2n}, \quad (6)$$

$$\text{де } d_{1 \max} = \frac{4h_1 h_2}{\lambda}, \quad (7)$$

$n=1, 2, \dots$ – натуральне число, що позначає порядок максимуму або мінімуму.

Перший максимум розташовано на найбільшій відстані $d_{1 \max}$, яку обчислюють за формулою (7). Максимуми більших порядків спостерігаються на віддаленні від РЛС $d_{1 \max}/3, d_{1 \max}/5, d_{1 \max}/7$ і т.д., тобто в непарне число разів меншому за $d_{1 \max}$. Між цими максимумами розташовані мінімуми на відстані $d_{1 \max}/2, d_{1 \max}/4, d_{1 \max}/6 \dots$. Типовий вигляд залежності інтерференційного множника від відстані показаний на рис. 1.

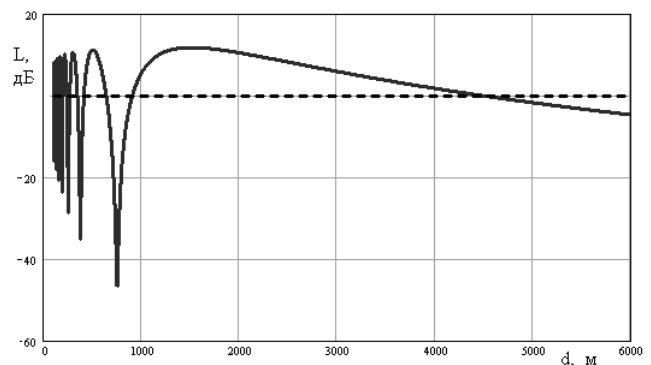


Рис. 1. Типовий вигляд залежності інтерференційного множника від відстані.

Як бачимо, чим ближче до РЛС, тим частіше чергуються максимуми й мінімуми інтерференційного множника. При збільшенні відстані рознесення між екстремумами також збільшується, поки не буде досягнуто максимум першого порядку, розташований на віддалі $d_{1 \max}$. При подальшому збільшенні відстані відбувається монотонне зменшення сили радіолокаційного сигналу.

На відстані від РЛС, більшій від $d_{1 \max}$, скориставшись тим, що за малих значень функція синус мало відрізняється від свого аргумента, інтерференційну формулу (1), (5) можна ще більше спростити – до формули Введенського [4]:

$$L_{\text{инт}} = \frac{4\pi h_1 h_2}{d \lambda}. \quad (8)$$

Очевидною ближньою межею зони, у якій радіолокаційну ціль можна вважати маловисотною, є відстань $d_{\text{МВЦ}}$, для якої інтерференційний множник $L_{\text{инт}}$ дорівнює одиниці. З формули (8) випливає, що

$$d_{\text{НЛЦ}} = \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda}. \quad (9)$$

Для маловисотних цілей через майже протифазне підсумовування (фактично віднімання) прямого й відбитого променів приблизно однакової інтенсивності

потужність прийнятого сигналу обернено пропорційна відстані у *восьмому* степені [1, 4], що приводить до значного зниження дальності радіолокаційного спостереження. На відстані, більшій за $d_{\text{МВЦ}}$, сигнал від цілі завжди менше сигналу, який би спостерігався у випадку поширення радіохвиль у вільному просторі, на величину інтерференційних втрат $L_{\text{интдБ}}$, які можна розрахувати за допомогою рівняння:

$$L_{\text{интдБ}} = 40 \lg \left(\frac{d}{d_{\text{нлц}}} \right). \quad (10)$$

Коефіцієнт «40» у формулі (10) враховує той факт, що інтерференційного ослаблення при виявленні маловисотної цілі радіолокаційний сигнал зазнає двічі: як на шляху від передавача РЛС до цілі, так і на зворотній трасі від цілі до приймача РЛС.

Слід зазначити, що вплив різних нерівностей земної поверхні не змінює положень максимумів і мінімумів інтерференційного множника, показаного на рис. 1. Наявність недзеркального відбиття приводить лише до «вирівнювання» інтерференційної «картинки»: максимуми й мінімуми стають меншими за абсолютною величиною.

РОЗРАХУНКИ

Розглянемо приклад – наземну РЛС Х-діапазону, що працює на довжині хвилі $\lambda=3,2$ см. Нехай фазовий центр антени РЛС розташовано на висоті $h_1=3$ м над поверхнею Землі, а об'єктом спостереження виступає автомобіль, що виступає над землею поверхнею на висоту $h_2=2$ м. Згідно з формулою (9), у цих умовах $d_{\text{МВЦ}}=2,356$ км.

Починаючи із цієї відстані, потрібно враховувати додаткові інтерференційні втрати, які, наприклад, на дальності 7 км досягають, у відповідності до формули (10), величини 19 дБ. Очевидно, що для успішного радіолокаційного спостереження автомобіля на такій відстані передавач РЛС повинен мати запас потужності, достатній для компенсації високих додаткових втрат.

Альтернативою настільки марнотратному використанню потужності передавача може служити або зменшення робочої довжини хвилі, або піднімання антени РЛС на більшу висоту. Так, наприклад, при збільшенні h_1 до 6 м (за тієї ж робочої довжини хвилі) удвічі збільшується $d_{\text{МВЦ}}$, і на віддалі 7 км додаткові інтерференційні втрати при виявленні автомобіля з $h_2=2$ м складуть уже значно меншу величину 7 дБ.

ВИСНОВКИ

При розрахунках енергопотенціалу наземної РЛС, призначеної для виявлення цілей, що перебувають на невеликій висоті над землею поверхнею, тобто так званих маловисотних цілей, в обов'язковому порядку необхідно враховувати інтерференційні втрати. Дальність $d_{\text{МВЦ}}$, починаючи з якої цілі можна вважати маловисотною, розраховують за формулою (9). Якщо відстань до цілі перевищує $d_{\text{МВЦ}}$, то мають місце інтерференційні втрати, які визначають за допомогою рівняння (10).

Для оперативного врахування інтерференційних явищ при радіолокації маловисотних цілей може бути корисною проста *методика*, подана нижче.

1. За відомою робочою довжиною хвилі λ визначають параметр $d_0 = \frac{4}{\lambda}$, який має фізичний зміст відстані до першого (найдалшого від РЛС) максимуму інтерференційного множника, розрахованого за умови, що антена локатора й цілі розташовані на висоті $h_1 = h_2 = 1$ м. Наприклад, якщо радіолокатор працює на довжині хвилі $\lambda = 3,2$ см, $d_0 = 125$ м.

2. Знаючи конкретні значення (у метрах) висоти установки антени й висоти цілі, за формулою $d_{1\text{max}} = d_0 h_1 h_2$ розраховують положення першого максимуму $d_{1\text{max}}$. Так, у випадку установки антени на висоті $h_1 = 2,5$ м і виявлення автомобіля з $h_2 = 2,0$ м, $d_{1\text{max}} = 625$ м.

3. Інші максимуми інтерференційного множника розташовані на відстанях $d_{1\text{max}}/3, d_{1\text{max}}/5, d_{1\text{max}}/7 \dots$. Для розглянутого випадку це будуть відстані 208 м, 125 м, 89 м ... відповідно.

4. Між інтерференційними максимумами на відстанях $d_{1\text{max}}/2, d_{1\text{max}}/4, d_{1\text{max}}/6 \dots$ спостерігаються «провали». У розглянутому випадку вони розташовані на відстанях 312 м, 156 м, 104 м ...

5. Потроєна відстань $d_{1\text{max}}$ визначає ближню межу $d_{\text{МВЦ}}$ зони, у якій цілі можна вважати маловисотною. У цій зоні сигнал від цілі завжди менше сигналу, який спостерігався б у випадку поширення радіохвиль у вільному просторі, на величину інтерференційних втрат (див. формулу (10)). Для розглянутих у прикладі умов радіолокаційного спостереження $d_{\text{МВЦ}} = 1875$ м.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Skolnic, M. I. (2008), *Radar handbook*, 3-d ed., McGraw-Hill Companies, 1351 p.
2. Расстригин О. О., Сергиенко В. Д., Федоров П. М., Чучмій А. В. Вплив умов поширення радіохвиль на дальність спостереження надводних цілей береговою радіолокаційною станцією. Зб. наук. пр. ЦНДІ ОБТ ЗС України. Вип. 4(59). 2015. С. 128–140.
3. Boithais Lucien (1987), *Radio Wave Propagation*, McGraw-Hill Book Company. New York.
4. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. М.: Связьиздат, 1972. 336 с.

REFERENCES

1. Skolnic, M. I. (2008), *Radar handbook*, 3-d ed., McGraw-Hill Companies, 1351 p.
2. Rasstryhin, O. O., Serhiienko, V. D., Fedorov, P. M. and Chuchmii, A. V. (2015), «Vplyv umov poshyrennia radiokhvyly na dalnist sposterezhenia nadvodnykh tsilei berehovoii radiolokatsiinoiu stantsiieiu» [The influence of radio waves propagation conditions on the range of observation of above-water targets by a coastal radar], *Col. Papers of the Central Research Inst. of*

Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, No. 4(59), pp. 128–140.

3. Boithais Lucien (1987), *Radio Wave Propagation*, McGraw-Hill. New York.
4. Dolukhanov, M. P. (1972), «*Rasprostranenie radiovoln*» [*Propagation of Radio Waves*], Sviazizdat, M., 336 p.

Відомості про авторів:

Федоров Павло Миколайович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1359-2757>
e-mail: pamyf@i.ua

Богучарський Вячеслав Вікторович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5514-1642>
e-mail: bogww@ukr.net

Information about the authors:

Pavlo Fedorov

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Leading researcher, Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1359-2757>
e-mail: pamyf@i.ua

Viacheslav Bohucharskyi

Candidate of Technical Sciences
Senior Research
Head of a research department, Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5514-1642>
e-mail: bogww@ukr.net

Стаття надійшла до редколегії 24.07.2019 р.

Рецензент М. І. Луханін, д-р техн. наук, професор
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-1919-8526>

Рецензент В. В. Зубарєв, д-р техн. наук, професор
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-4998-726X>

УДК 621.391+623.62

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3\(23\).62-67](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3(23).62-67)**С. Д. ЗІБІН**, науковий співробітник<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>**А. О. ПОПОВ**, кандидат технічних наук, доцент<https://orcid.org/0000-0002-8560-617X>**В. В. ТВЕРДОХЛІБОВ**, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник<https://orcid.org/0000-0002-6802-9796>(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

Забезпечення завадозахищеності приймачів сигналів GNSS шляхом використання алгоритмів просторової фільтрації

Здійснюється оцінка потрібного рівня радіоелектронного захисту приймачів сигналів супутникових радіонавігаційних систем (СРНС), що забезпечують застосування наземних платформ озброєння та військової техніки, з урахуванням можливого радіоелектронного подавлення з боку противника. Розглядається адаптивний алгоритм просторової фільтрації сигналів СРНС в умовах впливу спеціально організованих завад з боку противника, побудований на основі рекурентного методу формування оцінки зворотної кореляційної матриці. На основі даного алгоритму створюється модель функціонування завадозахищеного приймача сигналів СРНС в умовах впливу активних завад. За допомогою створеної моделі оцінюється ефективність функціонування завадозахищеного приймача сигналів СРНС в умовах радіоелектронного подавлення.

Ключові слова: завадозахищеність, супутникові радіонавігаційні системи, радіоелектронний захист, радіоелектронне подавлення, кругова антенна решітка, просторова фільтрація сигналів, вектор вагових коефіцієнтів, рекурентний метод формування оцінки зворотної кореляційної матриці

Осуществляется оценка необходимого уровня радиоэлектронной защиты приемников сигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС), которые обеспечивают применение наземных платформ вооружения и военной техники, с учетом возможного радиоэлектронного подавления со стороны противника. Рассматривается адаптивный алгоритм пространственной фильтрации сигналов СРНС в условиях воздействия специально организованных помех со стороны противника, построенный на основе рекурентного метода формирования оценки обратной корреляционной матрицы. На основе данного алгоритма создается модель функционирования помехозащищенного приемника сигналов СРНС в условиях воздействия активных помех. С помощью созданной модели оценивается эффективность функционирования помехозащищенного приемника сигналов СРНС в условиях радиоэлектронного подавления.

Ключевые слова: помехозащищенность, спутниковые радионавигационные системы, радиоэлектронная защита, радиоэлектронное подавление, круговая антенная решетка, пространственная фильтрация сигналов, вектор весовых коэффициентов, рекурентный метод формирования оценки обратной корреляционной матрицы

ВСТУП

Проблеми підвищення завадозахищеності і завадостійкості є дуже гострими і досі не знайшли свого вирішення в більшості прикладних задач, наприклад, пов'язаних із розробкою терміналів глобальних супутникових радіонавігаційних систем (GNSS/СРНС) військового призначення. Вказані проблеми обумовлені швидким та ефективним розвитком систем та засобів радіоелектронного подавлення (РЕП), різким зростанням рівня взаємних завад внаслідок збільшення загальної кількості радіоелектронних засобів (РЕЗ), що використовуються в різних сферах людської діяльності, а також збільшенням рівня завад індустріального походження [1–4].

Так, наприклад, відомо, що функціонал радіоелектронного подавлення приймачів СРНС передбачено в наступних зразках багатофункціональних комплексів радіоелектронної боротьби (РЕБ): «Леер-2», ТОВ «НДІ «Еталон», РФ; «Инфауна» (РБ-531Б), ВАТ Концерн «Созвездие», РФ; «Репеллент», «Репеллент-1», ВАТ «Научно-технический центр радиоэлектронной борьбы», РФ; автоматизованій станції завад Р-330Ж, ВАТ Концерн «Созвездие», РФ; комплексі РЕБ з безпілотними літальними апаратами (БПЛА) «Шиповник-Аэро», ВАТ «Вега», РФ. Спеціально призначена для радіоелектронного подавлення приймачів СРНС, розміщених на борту засобів повітряного нападу (літаках ударної авіації та крилатих ракетах) система прикриття об'єктів від прицільного застосування високоточної зброї «Поле-21Э», ФПГ «Оборонительные системы», РФ. Функціонал радіоелектронного подавлення приймачів СРНС забезпечується також на безпілотних літальних апаратах та авіаційних комплексах: комплексі аеродинамічно закинутих передавачів завад Леер-3 (РБ-341В), РФ; комплекс БПЛА РЕБ «Туман-2», РБ; БПЛА РЕБ «Істра-07», РФ та ін. [3, 4].

Радіоелектронні системи та засоби передачі інформації, радіонавігації, радіолокації та інші, що розробляються компаніями – світовими лідерами для військової сфери використання суттєво відрізняються від їх аналогів, призначених для цивільного використання, насамперед тим, що вони здатні забезпечувати свої основні характеристики на рівні вище критичного в умовах впливу спеціально організованих завад (рис. 1).

Тому існує об'єктивна потреба в оцінці необхідного рівня радіоелектронного захисту радіоелектронних засобів СРНС з урахуванням можливого радіоелектронного подавлення з боку противника, а з іншого боку, в оцінці ефективності роботи РЕЗ СРНС в умовах впливу завад, що, власне, є метою даної статті.

Для оцінки потрібного рівня радіоелектронного захисту терміналів супутникових радіонавігаційних систем військового призначення, що застосовуються в зразках ОВТ наземного базування в тактичній ланці управління з урахуванням можливого радіоелектронного подавлення з боку противника, необхідно враховувати декілька факторів: особливості бойового застосування засобів РЕБ наземного та повітряного базування тактичної ланки управління; характеристики та особливості їх

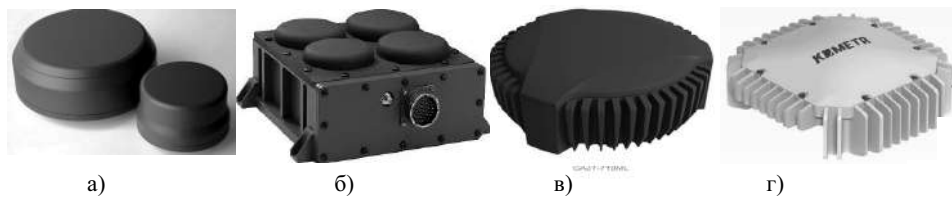


Рис. 1. Зразки заводозахищених приймачів сигналів СРНС виробництва компаній:
а) Raytheon UK, Великобританія; б) Rockwell-Collins, США; в) NovAtel, Канада;
г) ВНДІ «Прогрес», РФ

антенних систем; рівні потужностей випромінювання та види заводових сигналів; рівні корисних сигналів від СРНС на вході приймачів наземного базування, поляризацію цих сигналів; рівень чутливості приймачів сигналів СРНС.

З аналізу зразків засобів РЕБ РФ [3, 4] випливає, що для вирішення завдань з РЕП наземних терміналів СРНС військового призначення можуть залучатись багатофункціональні засоби та комплекси РЕБ із значним енергетичним потенціалом, що застосовуються, зазвичай, на відстані 5...7 км від лінії зіткнення, так і малогабаритні малопотужні засоби РЕБ наземного та повітряного базування, спеціально створені для РЕП терміналів СРНС, які можуть застосовуватись на відстані 1...2 км від засобів, що подавляються. Враховуючи те, що сигнали СРНС використовують кругову поляризацію та відомі несучі частоти, засоби РЕБ для РЕП терміналів СРНС застосовують заводові сигнали з лінійною поляризацією, прицільні по частоті, як правило, з частотною модуляцією в межах смуги частот корисних сигналів. В подальших розрахунках вважатимемо, що наземні засоби РЕБ використовують для РЕП наземних терміналів СРНС заводові сигнали з потужністю 100 та 20 Вт, антенні системи з коефіцієнтом підсилення до 7 дБ для забезпечення широкого, до 120 градусів, сектору РЕП, а БПЛА РЕБ використовують для цієї мети заводові сигнали з потужністю 20 та 5 Вт та неспрямовані антени.

На рис. 2а показані рівні $P(R)$ корисних сигналів та заводів від наземної станції РЕБ на вході приймача сигналів СРНС як функції від відстані R між ними, яка відображена в логарифмічному масштабі по обох координатах. На рис. 2б показані рівні корисних сигналів та заводів від БПЛА РЕБ на вході приймача сигналів СРНС

в залежності від відстані між ними, яка відображена в логарифмічному масштабі. Залежності, показані на рис. 2а, 2б побудовані на основі відомих співвідношень, наведених, наприклад, в [5, 6].

Рівні заводових сигналів малої та великої потужності від засобу РЕБ на обох рисунках наведені штриховою та суцільною лініями відповідно. Штрих-пунктирною лінією на обох рисунках показано типовий рівень чутливості приймача сигналів СРНС (-165 дБ·Вт) [7]. Рівні корисних сигналів на вході приймача сигналів СРНС (-160...-155 дБ·Вт) [7] наведені сірим прямокутником. Задача вибору необхідного коефіцієнта подавлення K_{Π} заводових сигналів вирішується графічним способом, виходячи з критерію забезпечення решти шумів після компенсації заводових сигналів за допомогою спеціальної обробки сигналів в антенній решітці на рівні чутливості приймача сигналів СРНС. Як випливає з обох рисунків, для забезпечення необхідного рівня компенсації заводових сигналів від засобів РЕБ наземного та повітряного базування, треба забезпечити коефіцієнт подавлення K_{Π} заводових сигналів не гірше 86 дБ.

Таким чином, при визначенні технічних вимог стосовно радіоелектронного захисту до терміналів СРНС військового призначення, що застосовуються в тактичній ланці управління для забезпечення наземних платформ озброєння та військової техніки, достатньо забезпечити коефіцієнт подавлення заводових сигналів на 86 дБ.

Предметом наступного розгляду буде дослідження можливостей алгоритмів адаптивної просторової фільтрації сигналів СРНС. Для забезпечення ефективної роботи приймачів сигналів СРНС в умовах впливу завод доцільно використовувати адаптивні алгоритми обробки сигналів в кільцевій антенній решітці. Адаптивні

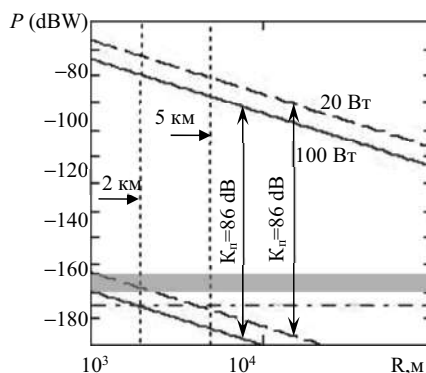


Рис. 2а. Рівні корисних сигналів та заводів від наземної станції РЕБ на вході приймача сигналів СРНС

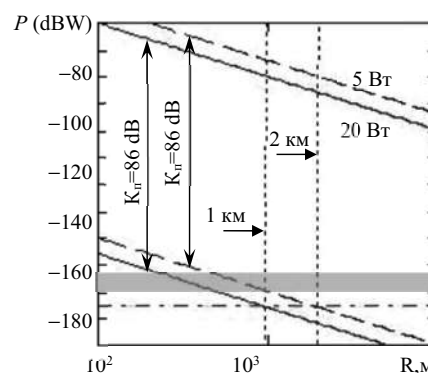


Рис. 2б. Рівні корисних сигналів та заводів від БПЛА РЕБ на вході приймача сигналів СРНС

системи й алгоритми просторової обробки сигналів використовуються, як правило, коли: а) умови приймання корисного сигналу (наприклад, спектральна щільність потужності завадового сигналу та напрямки його приходу, напрямки приходу корисного сигналу та ін.) невідомі та/або змінюються в часі, що зазвичай має місце при прийомі сигналів СРНС; б) обчислювальні ресурси системи вкрай обмежені й не дозволяють реалізовувати алгоритми, що використовують безпосереднє обчислення зворотної кореляційної матриці, що також має місце, оскільки при прийомі сигналів СРНС може здійснюватися обробка сигналів від шістьох супутників одночасно; в) необхідно вирішувати завдання поліпшення якості приймання сигналів та ін. Зазвичай, у відомих роботах [11—13] та ін. завдання забезпечення радіоелектронного захисту приймачів сигналів СРНС від впливу засобів РЕБ вирішується шляхом, по-перше, визначення напрямків приходу сигналів завад за допомогою відомих алгоритмів максимальної правдоподібності (maximum likelihood (ML)), мінімальної норми (minimum-norm (MN)), множинної класифікації сигналів (multiple signal classification (MUSIC)), а по-друге, на основі отриманої інформації з використанням алгоритму мінімальної дисперсії при лінійному обмеженні (linear constraint minimum variance (LCMV)) здійснюється формування глибоких нулів діаграми спрямованості антенної решітки в напрямках приходу завадових сигналів. Такий подвійний цикл (визначення напрямків приходу завадових сигналів – компенсація завад) потребує значних обчислювальних ресурсів системи обробки сигналів, а по-друге, витрачає зайвий час, необхідний для реалізації даних алгоритмів, що призводить до збільшення помилок визначення координат терміналу користувача. Ми розглянемо алгоритм адаптивної просторової фільтрації сигналів СРНС в кільцевій антенній решітці, побудований на рекурентному методі формування оцінки зворотної кореляційної матриці [8, 9], якому не притаманні визначені недоліки, в той же час він має гарні характеристики збіжності до оптимального рішення за критерію мінімуму середньоквадратичної помилки.

Адаптивний алгоритм, заснований на рекурентному методі формування оцінки зворотної кореляційної матриці [10 (7.29)], має такий вигляд:

$$\mathbf{w}(t_m) = [w_1(t_m), \dots, w_n(t_m)]^T =$$

$$= \frac{1}{1-\beta} \left[\mathbf{w}(t_{m-1}) - \mathbf{k}(t_m) \left(\mathbf{a}^T(t_m) \mathbf{w}(t_{m-1}) \right) \right]; \quad (1)$$

$$\mathbf{k}(t_m) = \frac{\beta \Phi_a(t_{m-1}) \mathbf{a}(t_m)}{(1-\beta) + \beta \mathbf{a}^T(t_m) \Phi_a(t_{m-1}) \mathbf{a}(t_m)}; \quad (1a)$$

$$\Phi_a(t_m) = \frac{1}{1-\beta} \left(\Phi_a(t_{m-1}) - \mathbf{k}(t_m) \mathbf{a}^T(t_m) \Phi_a(t_{m-1}) \right); \quad (1b)$$

$$\Phi_a(t_0) = \hat{\mathbf{R}}_a^{-1}(t_0) = c \cdot \mathbf{I}, \quad \mathbf{I} = [\delta_{ik}]; \quad (1b)$$

$$\mathbf{w}(t_0) = \mathbf{w}_0; \quad (1r)$$

$$y(t) = \sum_{i=1}^n \overline{w_i(t)} a_i(t) = \overline{\mathbf{w}^T(t) \mathbf{a}(t)}, \quad (2)$$

де $t = t_m = t_0 + m \cdot \Delta t$; $m = 0, 1, \dots, N-1$; Δt – інтервал дискретизації сигналів; N – число відліків, що використовуються при обробці; $\mathbf{a}(t_m) = [a_1(t_m), \dots, a_n(t_m)]^T$ – вектор (1) спостережуваного процесу $\mathbf{a}(t)$; співвідношення (1a) визначає вектор коефіцієнта підсилення розмірністю $n \times 1$; співвідношення (1b) визначає ітеративну зміну матриці $\Phi_a(t) = \mathbf{R}_a^{-1}(t)$; $\hat{\mathbf{R}}_a(t)$ – оцінка кореляційної матриці вектора $\mathbf{a}(t_m) = [a_1(t_m), \dots, a_n(t_m)]^T$; β – відносна вага значимості поточних даних, яка вибирається, виходячи з параметрів кореляційної матриці \mathbf{R}_a : $0 < \beta < 1/(10 \operatorname{tr}(\mathbf{R}_a))$ або $0 < \beta < 1/10\lambda_{\max}$, де $\operatorname{tr}(\mathbf{R}_a)$ – слід матриці \mathbf{R}_a ; λ_{\max} – максимальне власне значення матриці \mathbf{R}_a ; співвідношення (1b), (1r) визначають початкові умови для кореляційної матриці й вектора вагових коефіцієнтів відповідно; \mathbf{w}_0 – вихідне значення вектора вагових коефіцієнтів; \mathbf{I} – одинична матриця; δ_{ik} – символ Кронекера: $\delta_{ik} = 1$, якщо $i = k$; $\delta_{ik} = 0$, якщо $i \neq k$; $c = \text{const}$.

Виходячи з необхідності отримання інформації з шістьох (принаймні з чотирьох) супутників, загальний алгоритм обробки сигналів повинен передбачати паралельне обчислювання за алгоритмом (1), (2) для шістьох різних – вихідних значень вектора вагових коефіцієнтів \mathbf{w}_0 : $\mathbf{w}_{0,1}, \mathbf{w}_{0,2}, \dots, \mathbf{w}_{0,6}$, формування яких здійснено, виходячи з таких міркувань.

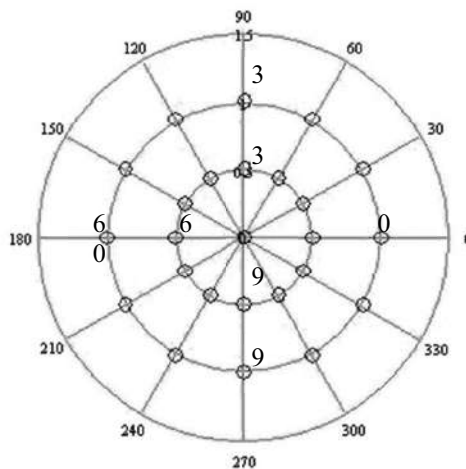


Рис. 3. Розміщення елементів вузькосмугової кільцевої антенної решітки та їх нумерація

Розглянемо вузькосмугову кільцеву антенну решітку, розміщення 25 елементів якої показано на рис. 3, при цьому на внутрішньому та зовнішньому кільцях знаходиться по 12 елементів, нумерація яких показана на рисунку, а радіуси кілець дорівнюють відповідно: $R_I = 0.5\lambda$, $R_{II} = \lambda$, λ – довжина хвилі електромагнітних коливань, на яку налаштована антенна решітка.

Якщо вагові коефіцієнти відповідних елементів взяти так, як вказано на діаграмоутворюючих співвідношеннях, зазначених нижче, можна отримати шість різних діаграм спрямованості 25-елементної кругової антенної решітки, які відображені на рис. 4а і 4б:

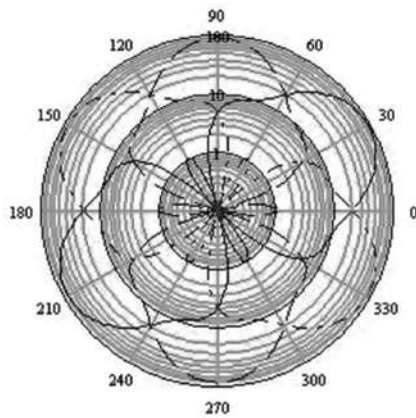


Рис. 4а. Діаграми спрямованості 25-елементної кругової антенної решітки, що визначається формулою (3)

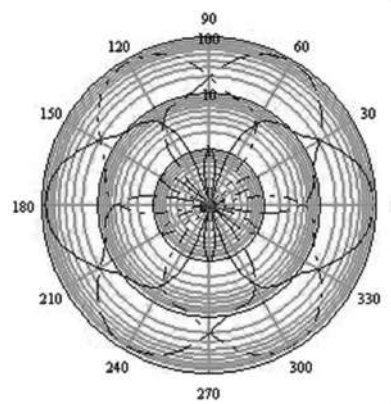


Рис. 4б. Діаграми спрямованості 25-елементної кругової антенної решітки, що визначається формулою (4)

$$A_{1,2,3}(\varphi) = 1 + \left[\sum_{i=0}^{11} \exp(j2\pi R_i (\cos(\pi \cdot i/6) \cos \varphi + \sin(\pi \cdot i/6) \sin \varphi)) \right] \cdot B_{1,2,3}(i) + \left[\sum_{i=0}^{11} \exp(j2\pi R_{ii} (\cos(\pi \cdot i/6) \cos \varphi + \sin(\pi \cdot i/6) \sin \varphi)) \right] \cdot C_{1,2,3}(i); \quad (3)$$

де $B_1(i) = \max(\delta(i,0), \delta(i,2), \delta(i,6), \delta(i,8))(-1)$;

$B_2(i) = \max(\delta(i,2), \delta(i,4), \delta(i,8), \delta(i,10))(-1)$;

$B_3(i) = \max(\delta(i,4), \delta(i,6), \delta(i,10), \delta(i,0))(-1)$;

$C_1(i) = \max(\delta(i,0), \delta(i,1), \delta(i,2), \delta(i,6), \delta(i,7), \delta(i,8))$;

$C_2(i) = \max(\delta(i,2), \delta(i,3), \delta(i,4), \delta(i,8), \delta(i,9), \delta(i,10))$;

$C_3(i) = \max(\delta(i,4), \delta(i,5), \delta(i,6), \delta(i,10), \delta(i,11), \delta(i,0))$;

$$A_{4,5,6}(\varphi) = 1 + \left[\sum_{i=0}^{11} \exp(j2\pi R_i (\cos(\pi \cdot i/6) \cos \varphi + \sin(\pi \cdot i/6) \sin \varphi)) \right] \cdot B_{4,5,6}(i) + \left[\sum_{i=0}^{11} \exp(j2\pi R_{ii} (\cos(\pi \cdot i/6) \cos \varphi + \sin(\pi \cdot i/6) \sin \varphi)) \right] \cdot C_{4,5,6}(i); \quad (4)$$

де $B_4(i) = \max(\delta(i,11), \delta(i,1), \delta(i,5), \delta(i,7))(-1)$;

$B_5(i) = \max(\delta(i,1), \delta(i,3), \delta(i,7), \delta(i,9))(-1)$;

$B_6(i) = \max(\delta(i,3), \delta(i,5), \delta(i,9), \delta(i,11))(-1)$;

$C_4(i) = \max(\delta(i,11), \delta(i,0), \delta(i,1), \delta(i,5), \delta(i,6), \delta(i,7))$;

$C_5(i) = \max(\delta(i,1), \delta(i,2), \delta(i,3), \delta(i,7), \delta(i,8), \delta(i,9))$;

$C_6(i) = \max(\delta(i,3), \delta(i,4), \delta(i,5), \delta(i,9), \delta(i,10), \delta(i,11))$,

де $\delta(i,k)$ – символ Кронекера: $\delta(i,k) = 1$, якщо $i = k$; $\delta(i,k) = 0$, якщо $i \neq k$.

Коефіцієнти $B_{1,2,3}(i); C_{1,2,3}(i)$, $B_{4,5,6}(i); C_{4,5,6}(i)$ у формулах (3), (4) визначають шість різних вихідних значень вектора вагових коефіцієнтів \mathbf{W}_0 : $\mathbf{W}_{0,1}, \mathbf{W}_{0,2}, \dots, \mathbf{W}_{0,6}$ (1г) для внутрішнього та зовнішнього кілець антенної решітки, забезпечують первинне створення шістьох діаграм спрямованості, які наведені на рис. 4а і 4б відповідно.

Співвідношення (1) – (4) визначають модель функціонування завадозахищеного приймача сигналів СРНС в умовах впливу активних завад, яку можна застосовувати для оцінки ефективності його функціонування в складних умовах радіоелектронного подавлення для різних видів антенних решіток.

Роботу адаптивного алгоритму, що забезпечує захист від потужних спеціально створених завад, заснованого на методі рекурентної інверсії кореляційної матриці, проілюструємо наступним прикладом.

Приклад. Нехай на входах 25-елементної кругової антенної решітки (рис. 3) спостерігається адитивна суміш шістьох корисних сигналів $s_1(t), \dots, s_6(t)$ від шістьох супутників, що приходять із напрямків за азимутом та кутом місця відповідно: $\varphi_s = 0^\circ, 30^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 210^\circ, 270^\circ$; $\theta_s = 5^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 20^\circ, 45^\circ$; двох завадових сигналів $u_1(t)$, $u_2(t)$, що приходять із напрямків за азимутом та кутом місця відповідно $\varphi_1 = 45^\circ$; $\varphi_2 = 300^\circ$; $\theta_1 = \theta_2 = 90^\circ$ при постановці активних завад станціями РЕБ, а також некорельованого квазібілого гаусовського шуму $n(t)$, що діє в каналах приймання антенної решітки. Сигнали $u_1(t)$, $u_2(t)$ являють собою прицільні по частоті частотно-модульовані завади. Співвідношення сигнал – завада в окремому i -ому прийомному каналі антенної решітки становили величини, близькі до -90 дБ. Співвідношення сигнал-шум складало величину, близьку до 5 дБ.

На рис. 5а і б показані результуючі сигнали $y_4(t)$, $y_6(t)$ на виході пристрою обробки (суцільною лінією), обумовлені рівняннями (2) та корисні сигнали $s_4(t)$, $s_6(t)$ (пунктиром), що надходять на входи антенної решітки із четвертого та шостого супутників відповідно, за умови, що вихідні значення вектора вагових коефіцієнтів \mathbf{W}_0 : $\mathbf{W}_{0,1}, \mathbf{W}_{0,2}, \dots, \mathbf{W}_{0,6}$ (1г) для внутрішнього та зовнішнього кілець антенної решітки обрані у відповідності до формул (3) і (4). Коефіцієнти кореляції між корисним сигналом $s_i(t)$ і сигналом $y_i(t)$ на виході просторового фільтра, що реалізує алгоритм (1) і (2), приймали значення $r[y_i(t), s_i(t)] = 0.32 \dots 0.49$, що відповідає наявності шумів після компенсації на рівні $D[n_i(t)]/D[s_i(t)] = 1 \dots 3$. З цього випливає, що співвідношення сигнал-шум для C/A коду

складатиме величину $E/N_0 = D[s_i(t)]T_s / (D[n_i(t)]/\Delta f) = D[s_i(t)]B_s / D[n_i(t)] = 0.33 \dots 1 B_s$, де $B_s = 1023$, що забезпечуватиме задовільну якість навігаційної інформації, яка отримується в ході подальшої обробки сигналів.

ВИСНОВКИ

1. При визначенні технічних вимог стосовно радіоелектронного захисту до терміналів СРНС військового призначення, що застосовуються в тактичній ланці управління для забезпечення застосування наземних платформ озброєння та військової техніки, достатньо забезпечити коефіцієнт подавлення заводових сигналів на 86 дБ.

2. Наведені співвідношення (1) – (4) визначають модель функціонування заводо захищеного приймача сигналів СРНС в умовах впливу активних завод, яку можна застосовувати для оцінки ефективності його функціонування в складних умовах радіоелектронного подавлення для різних видів антенних решіток.

3. Симуляція функціонування заводо захищеного приймача сигналів СРНС в умовах впливу активних завод на основі адаптивного алгоритму, що забезпечує захист від потужних спеціально створюваних завод, заснованого на методі рекурентної інверсії оцінки кореляційної матриці, дає підстави стверджувати, що необхідний коефіцієнт подавлення може бути досягнутий при застосуванні кільцевої 25-елементної антенної решітки.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Чепков І. Б., Нор П. І. Загальні тенденції розвитку озброєння та військової техніки. Озброєння та військова техніка, 2014. № 1 (1). С. 4–13.
2. Попов А. О., Твердохлібов В. В. Загальні тенденції розвитку засобів радіоелектронної боротьби. Озброєння та військова техніка, 2014. № 4 (4). С. 4–10.
3. Зібін С. Д., Попов А. О., Твердохлібов В. В. Аналіз сучасного стану розвитку систем радіоелектронної протидії безпілотним літальним апаратам. Зб. наук. пр. ЦНДІ ОВТ ЗС України, Київ, 2016. № 4 (63), С. 118–131.
4. Сергієнко В. Д., Зібін С. Д., Попов А. О., Бичков А. М. Аналіз сучасного стану розвитку багатофункціональних засобів та комплексів радіоелектронної боротьби. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Київ: НУОУ, 2017. №1 (28). С. 135–143.
5. Палий А. И. Радиоэлектронная борьба. М.: Воениздат, 1989.
6. Перунов Ю. М., Фомичев К. И., Юдин Л. М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием. М.: Радиотехника, 2003. 416 с.
7. Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Ed. by P. J. Teunissen and O. Montenbruck. (2017). Springer, Leipzig. 1327 p.
8. Mantey, P. E. and Griffiths, L. J. (1969). Iterative least-squares algorithm for signal extraction. Second Hawaii International Conf. on System Science, pp.767–770.

9. Baird, C. A. Recursive processing for adaptive arrays. Proc. of the Adaptive Antenna Systems Workshop, 1974, Vol. 1, NRL Report 7803, Naval Research Laboratory, Washington, DC, pp. 163–182.
10. Monzingo, R. A. and Miller, T. W. (1980). Introduction to Adaptive Arrays. John Wiley and Sons.
11. Amin, M. G., Lindsey, A. R., Zhao, L. and Zhang, Y. (2001). Anti-jamming techniques for GPS receivers. Final technical report #AFRL-IF-RS-TR-2001-186. Air Force Research Laboratory, New York.
12. Gao, G. X., Sgammini, M., Lu, M. and Kubo, N. Protecting GNSS receivers from jamming and interference. Proc. of the IEEE, 104 (6), 2016, pp. 1–12.
13. Lu, Y. E., Yang, J., Ding, Z. M. and Zhan, Z. T. (2001). The orthogonal weighted algorithm for GPS receiver anti-jamming. Proc. of 2001 CIE International Conf. on Radar, Beijing, pp. 1190–1194.

REFERENCES

1. *Chepkov, I. B. and Nor, P. I. "Zagalni tendencii rozvidku ozbroenny ta vyckovoy texnyiki" [General trends of armament and military equipment development], Armament and Military Equipment, 2014. № 1 (1). Pp. 4–13 [in Ukrainian].*
2. *Popov, A. A. and Tverdohlibov, V. V. "Zagalni tendencii rozvidku zasobiv radioelektronnoy borotbi" [General trends of development of electronic warfare means and systems], Armament and Military Equipment. 2014. № 4 (4). Pp. 4–10 [in Ukrainian].*
3. *Zibin, S. D., Popov, A. A. and Tverdohlibov, V. V. "Analiz suchasnogo stanu rozvitku sistem radioelektronnoy protidid bezpilotnim litalnim aparatam" [Analysis of state-of-the-art of UAV countermeasures systems], Proc. of Central Research Inst. of Armament and Military Equipment, 2016. № 4 (63), pp. 118–131 [in Ukrainian].*
4. *Sergienko, V. D., Zibin, S. D., Popov, A. A. and Bychkov, A. M. "Analiz suchasnjgj stanu rozvitku bogatofunkcionalnix zasobiv ta kompleksiv radioelektronnoy borotbi" [Analysis of state-of-the-art of multifunctional electronic warfare means and complexes], Modern Information Technologies in Spheres of Security and Defence, 2017. №1 (28). Pp. 135–143 [in Ukrainian].*
5. *Paliy, A. I. (1989), "Radioelektronnyay borba" [Electronic Warfare], Voenizdat, M. [in Russian].*
6. *Perunov, Yu. M., Fomichev, K. I. and Yudin, L. M. (2003). "Radioelektronnoe podavlenie informacionnix kanalov system upravleniy oruzhiem" [Electronic Countermeasures of Weapon Control System Informational Channels], Radiotekhnika, M. 416 p. [in Russian].*
7. *Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Ed. by P. J. Teunissen and O. Montenbruck. (2017). Springer, Leipzig. 1327 p.*
8. *Mantey, P. E. and Griffiths, L. J. Iterative least-squares algorithm for signal extraction. Second Hawaii International Conf. on System Science, 1969, pp.767–770.*
9. *Baird, C. A. Recursive processing for adaptive arrays. Proc. of the Adaptive Antenna Systems Workshop,*

- 1974, Vol. 1, NRL Report 7803, Naval Research Laboratory, Washington, DC, pp. 163–182.
10. Monzingo, R. A. and Miller, T. W. (1980). Introduction to Adaptive Arrays. John Wiley and Sons.
 11. Amin, M. G., Lindsey, A. R., Zhao, L. and Zhang, Y. (2001). Anti-jamming techniques for GPS receivers. Final technical report #AFRL-IF-RS-TR-2001-186. Air Force Research Laboratory, New York.
 12. Gao, G. X., Sgammini, M., Lu, M. and Kubo, N. Protecting GNSS receivers from jamming and interference. Proc. of the IEEE, 104 (6), 2016, pp. 1–12.
 13. Lu, Y. E., Yang, J., Ding, Z. M. and Zhan, Z. T. (2001). The orthogonal weighted algorithm for GPS receiver anti-jamming. Proc. of 2001 CIE International Conf. on Radar, Beijing, pp. 1190–1194.

Відомості про авторів:**Зібін Сергій Данилович**

науковий співробітник
науково-дослідної лабораторії розвитку засобів
радіоелектронної боротьби науково-дослідного управління
озброєння та військової техніки спеціальних військ
Центрального науково-дослідного інституту озброєння та
військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>

Попов Андрій Олексійович

кандидат технічних наук, доцент
провідний науковий співробітник науково-дослідної
лабораторії розвитку засобів радіоелектронної боротьби
науково-дослідного управління озброєння та військової
техніки спеціальних військ Центрального науково-
дослідного інституту озброєння та військової техніки
Збройних Сил України, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8560-617X>

Твердохлібов Володимир Віталійович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного управління озброєння та
військової техніки спеціальних військ Центрального науково-
дослідного інституту озброєння та військової техніки
Збройних Сил України,
<https://orcid.org/0000-0002-6802-9796>

Information about the authors:**Sergiy Zibin**

Research Associate
of electronic warfare research laboratory of scientific research
development of military equipment of special corps of Central
Scientific Research Institute of Weapons and Military Equipment
of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>

Andriy Popov

Candidate of Technical Science, Associate Professor,
leading researcher of electronic warfare research laboratory of
scientific research development of military equipment of special
corps of Central Scientific Research Institute of Weapons and
Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8560-617X>

Volodimir Tverdochlibov

candidate of technical sciences, Senior Research
Chief of Scientific Research Management of development of
military equipment of special corps of Central Scientific Research
Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed
Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6802-9796>

Стаття надійшла до редколегії 26.07.2019 р.

Рецензент В. І. Рудаков, д-р техн. наук, професор
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-7798-8155>

Рецензент М. І. Луханін, д-р техн. наук, професор
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-1919-8526>

УДК 621.396.96

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3\(23\).68-77](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3(23).68-77)**И. М. НИКОЛАЕВ,***кандидат технических наук, старший научный сотрудник*<https://orcid.org/0000-0002-1250-9918>*(Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, г. Харьков)*

Методика априорного описания летательных аппаратов на основе сигнальных признаков, связанных со структурой и параметрами излучения бортовых радиолокационных станций

Излагается методика формирования априорных эталонных описаний распознаваемых классов (типов) и состояний радиоизлучающих летательных аппаратов на основе признаков, связанных со структурой и параметрами излучения бортовых радиолокационных станций (БРЛС). Показано, что в условиях параметрической неопределенности разбиение радиоизлучающих летательных аппаратов на классы (типы) и состояния, выбор априорного словаря сигнальных признаков и формирование априорных описаний целесообразно осуществлять на основе анализа данных о режимах работы и параметрах излучения БРЛС с использованием экспертно-аналитических оценок параметров излучения и проверкой полученных результатов методом статистического моделирования. Приводится априорный словарь сигнальных признаков, в состав которого входят частотно-временные параметры, обусловленные режимами работы передающих устройств и антенных систем БРЛС. Показано, что каталог эталонных описаний представляет собой таблицу, строки которой соответствуют названиям классов (типов) и состояний летательных аппаратов, а столбцы – наименованиям признаков, при этом эталонные описания классов (типов) и состояний летательных аппаратов в строках данной таблицы представлены интервалами возможных значений параметров излучения БРЛС, входящих в априорный словарь. Методика проиллюстрирована моделями априорных описаний нескольких типов летательных аппаратов, относящихся к различным классам.

Ключевые слова: каталог эталонных описаний, классифицированная обучающая выборка, радиоизлучающий летательный аппарат, бортовая радиолокационная станция, параметры излучения, словарь сигнальных признаков

ВВЕДЕНИЕ

Распознавание радиоизлучающих летательных аппаратов (ЛА) является одной из задач, возлагаемых на средства радиоэлектронного наблюдения (РЭН) [1]. Особую актуальность эта задача приобретает в информационных конфликтах противоборствующих сторон, где одна сторона формирует радиоизлучающие объекты на входе средства РЭН, а вторая обеспечивает селекцию и распознавание (классификацию) этих объектов с целью оперативного формирования решения в виде реакции на выявленную окружающую обстановку. Признаками распознавания радиоизлучающих ЛА для средств РЭН являются частотно-временные параметры излучений бортовых РЛС (БРЛС), проявляющиеся в режимах их работы и способах обзора пространства [2-4]. Возможность распознавания ЛА по параметрам излучений бортовых БРЛС обусловлена детерминированным характером их пространственной, временной и спектральной структуры, а также объективно существующими различиями в типаже и составе БРЛС, размещаемых на гражданских и военных ЛА разных классов (типов). Эффективность распознавания ЛА будет определяться полнотой и достоверностью априорного описания классов (типов) ЛА на языке сигнальных признаков, связанных со структурой и параметрами излучений БРЛС [4-6].

Общепринятые подходы к решению задачи распознавания ЛА по значениям параметров излучений БРЛС, представленных в виде совокупности входных сигнальных признаков, предполагают сравнение измеренных параметров излучения обнаруженного объекта с аналогичными параметрами из каталога эталонных описаний, характеризующего известные классы распознаваемых объектов [5-7]. В связи с этим задача разработки каталога эталонных описаний радиоизлучающих ЛА на основе параметров излучения их БРЛС является актуальной.

Основное внимание в известной научно-технической литературе уделяется методам выбора априорного словаря признаков, алфавита классов и классифицированной обучающей выборки применительно к задаче обучения проектируемой системы распознавания в автоматическом режиме [8-11]. В [12] рассматриваются специфика и показатели эффективности распознавания наземных РЛС аппаратурой РЭН, установленной на борту ЛА. В [13] приведены характеристики БРЛС и описание антенных решеток, стоящих на вооружении в России и за рубежом, приводятся возможные пути развития бортовых радиолокационных станций в ближайшем будущем. В [14] на основе открытых публикаций приведен анализ основных направлений научно-технического и технологического развития авиационных БРЛС. В [15] приведены параметры зарубежных РЛС воздушного базирования и их носителей, даны основные тактико-технические характеристики (ТТХ) боевого применения этих РЛС. В работах [16-20] описаны принципы построения и особенности функционирования радиоэлектронных комплексов навигации, прицеливания и управления вооружением ЛА при решении боевых и навигационных задач. В [21] обоснован перечень информативных параметров типовых источников радиоизлучений, который

может быть использован для их идентификации. В [22-38] на основе открытых материалов рассмотрены технические характеристики зарубежных ЛА и конкретные типы их бортовых РЛС. Вместе с тем в известной научно-технической литературе отсутствуют публикации, в которых рассматриваются вопросы формирования каталога эталонных описаний ЛА на основе признаков, связанных с параметрами сигналов, излучаемых их БРЛС, что обуславливает необходимость проведения исследований в данном направлении.

Целью статьи является разработка метода формирования классифицированной обучающей выборки в виде каталога эталонных априорных описаний классов (типов) и состояний радиоизлучающих ЛА на языке сигнальных признаков, связанных со структурой и параметрами излучений БРЛС.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С формальной точки зрения задача формирования классифицированной обучающей выборки для системы распознавания радиоизлучающих ЛА может быть сформулирована следующим образом. Пусть имеются алфавит классов ЛА $\Lambda_{ла} = \{\Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_L\}$ и априорный словарь признаков $A_{анр} = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N\}$. Каждый класс Λ_l , $l = 1, L$, изначально определяется набором из l_k типов ЛА, образующих данный класс. При этом каждый тип ЛА описывается N признаками из априорного словаря и однозначно ассоциируется с одним из классов Λ_l . Множество типов ЛА одного класса образует формальное описание этого класса в априорном признаковом пространстве. Объединение всех объектов из всех классов $\Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_L$ образует исходную классифицированную обучающую выборку. Эта выборка представляет собой таблицу типа “объект-свойство” и формально представляется в виде матрицы размерности $L \times N$, где $L = l_1 + l_2 + \dots + l_k$, а l_k – количество типов ЛА, образующих k -й класс.

Таким образом, классифицированная обучающая выборка представляет собой таблицу, строки которой помечены названиями классов ЛА, а столбцы – названиями признаков $\alpha_v, v = \overline{1, N}$. Элементами таблицы являются значения признаков объектов α_{v} .

Решение данной задачи плохо поддается автоматизации. Поэтому на практике при проектировании системы распознавания ЛА задача формирования классифицированной обучающей выборки решается расчетно-аналитическим методом с привлечением квалифицированных специалистов (экспертов), задачей которых является формирование: 1) алфавита классов (типов) ЛА, 2) априорного словаря признаков и 3) каталога эталонных описаний. Алфавит классов (типов) радиоизлучающих ЛА задается, исходя из задач, решаемых потребителем информации о воздушной радиоэлектронной обстановке, в интересах которого функционирует средство РЭН. Каталог эталонных описаний используется для хранения информации о сигнальных признаках распознаваемых классов (типов) ЛА. В случае решения задачи классификации экспертной системой данный каталог может выступать в качестве базы знаний. Он хранится в памяти системы распознавания и является основой

для классификации обнаруженного объекта по значениям параметров, представленных в виде совокупности входных признаков. Формирование каталога эталонных описаний радиоизлучающих ЛА может осуществляться одним из трех известных способов: 1) задание общих свойств, 2) кластеризация и 3) перечисление [7].

Первый способ (задание общих свойств) состоит в том, что класс ЛА (например, класс «бомбардировщик») задается указанием некоторых признаков, свойственных всем типам ЛА, образующих данный класс. Распознаваемый объект в таком случае не сравнивается напрямую с группой эталонных объектов. В его первичном описании выделяются значения определённого набора признаков, которые затем сравниваются с заданными признаками классов. При этом для каждого признака может задаваться требование либо к его наличию/отсутствию, либо к нахождению его числового значения в установленных пределах. Такой подход называется сопоставлением по признакам. Недостатком данного подхода к составлению каталога эталонных описаний радиоизлучающих ЛА является сложность определения полного набора признаков, точно отличающих ЛА одного класса от ЛА всех остальных классов.

Второй способ (кластеризация) может быть использован в том случае, когда радиоизлучающие объекты описываются векторами признаков или измерений, что позволяет класс ЛА рассматривать как кластер. Распознавание наблюдаемого объекта осуществляется на основе расчёта расстояния описания данного объекта до каждого из имеющихся кластеров. Если кластеры достаточно разнесены в пространстве, при распознавании хорошо работает метод оценки расстояний от рассматриваемого объекта до каждого из кластеров. Сложность распознавания возрастает, если кластеры перекрываются. Обычно это является следствием недостаточности исходной информации и может быть разрешено увеличением количества измерений объектов. Для задания исходных кластеров целесообразно использовать процедуру обучения.

Третий способ заключается в том, что каждый класс задается путём прямого указания (перечисления) типов ЛА, образующих данный класс. Предъявляемые системе распознавания образы сравниваются с заданными описаниями представителей классов и относятся к тому классу, которому принадлежат наиболее сходные с ними образцы. Такой подход к распознаванию радиоизлучающих ЛА называют методом сравнения с эталонами.

Описанные способы имеют место при формировании каталога эталонных описаний классов ЛА в случае, если имеется достоверная информация о параметрах излучения БРЛС.

Наибольший интерес для решения поставленной задачи представляет метод сравнения с эталонами. Методика формирования классифицированной обучающей выборки для системы распознавания ЛА по параметрам излучения их БРЛС предусматривает выполнение следующих операций:

1) на основе анализа информации о функциональном назначении ЛА проводят классификацию и

формируют априорный алфавит классов (типов) ЛА $\Lambda_{\text{ла}} = \{ \Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_L \}$;

2) на основе анализа информации о функциональном назначении, режимах работы и параметрах излучения БРЛС ЛА формируют априорный словарь сигнальных признаков $A_{\text{ап}}(\alpha_N) = \{ \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N \}$, где N – количество признаков, входящих в априорный словарь;

3) составляют описания классов (типов) ЛА на априорном языке сигнальных признаков, для чего каждому классу (типу) ЛА ставят в соответствие вектор-строку $\Lambda_l = \{ \alpha_{l1}, \alpha_{l2}, \dots, \alpha_{lN} \}$ $l = \overline{1, L}$, где L – количество классов ЛА;

4) объединяют все соответствующие вектора эталонных описаний из всех классов ЛА в классифицированную обучающую выборку, которая в данном случае будет представлять собой прямоугольную таблицу типа «объект-свойство»;

5) разрабатывают алгоритмы принятия решений, обеспечивающие отнесение наблюдаемого источника радиоизлучения (радиоизлучающего объекта) по измеренному вектору сигнальных признаков к одному из классов априорного алфавита;

6) создают адаптированную к предметной области компьютерную модель с программным обеспечением, моделирующим функционирование системы распознавания радиоизлучающих объектов по случайному вектору измеренных параметров излучения БРЛС имитируемого ЛА [39];

7) на основе результатов моделирования исходную классифицированную обучающую выборку корректируют путем исключения из нее всех строк, содержащих пересекающиеся признаки, и формируют промежуточную выборку;

8) на основе содержимого этой выборки проводят нормировку значений признаков к единичному интервалу и формируют в итоге классифицированную выборку эталонных значений, содержащую сигнальные признаки, диапазоны возможных значений которых обеспечивают распознавание заданного алфавита классов ЛА с вероятностью, не ниже требуемого значения.

Априорный словарь сигнальных признаков классов (типов) и состояний ЛА формируется из числа доступных измерению параметров сигналов, излучаемых БРЛС в том или ином режиме. При ограниченном времени контакта средства РЭН с радиоизлучающим объектом для распознавания класса (типа) ЛА могут быть использованы лишь основные параметры излучаемых сигналов, а именно: несущая частота и вид излучаемого сигнала, длительность и период повторения импульсов, наличие и вид закона внутриимпульсной модуляции, число импульсов в пачке, частота повторения пачек импульсов и другие параметры [3, 5, 6, 39]. Часть этих параметров измеряется системой измерения и анализа сигналов, а другая – вычисляется в системе первичной обработки информации на основе измеренных параметров. Измеряемыми параметрами являются: признак наличия внутриимпульсной модуляции, длительность импульса, несущая частота импульса, величина внутриимпульсной девиации частоты. К вычисляемым

параметрам относятся: период повторения импульсов, признаки модуляции длительности и периода повторения, количество импульсов в пачке и другие.

Задача формирования классифицированной обучающей выборки для системы распознавания радиоизлучающих ЛА характеризуется параметрической неопределенностью, которая обусловлена отсутствием достоверной информации о значениях параметров излучения БРЛС подлежащих распознаванию классов ЛА, неполным перечнем всех возможных классов, а также ограниченной точностью измерения параметров излучения. В связи с этим в каталоге эталонных значений распознаваемых классов (типов) ЛА для параметров α_{iv} необходимо вводить допустимые интервалы возможных значений (ИВЗ) $[\alpha_{iv}^{min}, \alpha_{iv}^{max}]$, с которыми нужно проводить сравнение поступивших в обработку параметров наблюдаемого объекта. Интервал $[\alpha_{iv}^{min}, \alpha_{iv}^{max}]$ гарантирует допустимые пределы изменения параметра α_{iv} с некоторой вероятностью. При этом следует учитывать, что попадание всех параметров объекта классификации в соответствующие допустимые интервалы какого-либо класса из каталога говорит о возможности отнесения наблюдаемого объекта к данному классу с некоторой вероятностью. Поскольку интервалы $[\alpha_{iv}^{min}, \alpha_{iv}^{max}]$ являются следствием отсутствия достоверной информации о значениях параметров излучения БРЛС ЛА, можно говорить о распознавании радиоизлучающих ЛА лишь как о вероятностном процессе.

Ввиду того, что диапазоны возможных значений одноименных параметров излучения БРЛС могут перекрываться, для повышения достоверности распознавания ЛА необходимо комплексное использование максимального количества информативных параметров, характеризующих текущее состояние источника радиоизлучения в условиях ограниченного сверху времени распознавания обнаруженного объекта.

Таким образом, конечный результат распознавания ЛА по параметрам излучений их БРЛС напрямую будет зависеть от качества информации, представленной в каталоге эталонных значений. Исходной информацией для построения каталога априорных описаний распознаваемых классов (типов) ЛА на языке сигнальных признаков являются ИВЗ параметров сигналов, излучаемых БРЛС в разных режимах работы.

Для формирования каталога априорных эталонных описаний классов (типов) ЛА на языке сигнальных признаков были выбраны границы ИВЗ следующих параметров сигналов, излучаемых БРЛС ЛА, а именно: $[f_o^{min}, f_o^{max}]$ – ИВЗ несущей частоты излучения; $[\tau_u^{min}, \tau_u^{max}]$ – ИВЗ длительностей импульсов; $[\Delta F_u^{min}, \Delta F_u^{max}]$ – ИВЗ ширины спектра излучения; $[T_u^{min}, T_u^{max}]$ – ИВЗ периода повторения импульсов; $[\Delta f_{\Pi}^{min}, \Delta f_{\Pi}^{max}]$ – ИВЗ перестройки частоты в пачке импульсов; $[\tau_{\Pi}^{min}, \tau_{\Pi}^{max}]$ – ИВЗ длительностей пачки импульсов; $[T_{\Pi}^{min}, T_{\Pi}^{max}]$ – ИВЗ период следования пачек импульсов; $[\Delta F_{\Pi}^{min}, \Delta F_{\Pi}^{max}]$ – ИВЗ перестройки частоты между пачками импульсов; $[\tau_{obl}^{min}, \tau_{obl}^{max}]$ – ИВЗ времени контакта средства РЭН с радиоизлучающим объектом (длительности облучения); $[T_{obl}^{min}, T_{obl}^{max}]$ – ИВЗ периода

Модель возможных состояний ЛА КС-135

Режимы работы РЛС AN/APN-59	Навигация по радиолокационным маякам	Навигация по радиолокационным ориентирам	Разведка погоды	Картографирование реальным лучом ДНА	Картографирование в режиме РСА (коррекция ИНС)	Поиск воздушной цели	Сопровождение воздушной цели
№ 1	×						
№ 2		×					
№ 3			×				
№ 4				×			
№ 5					×		
№ 6						×	
№ 7							×

облучения. Кроме того, для описания ЛА может быть использован признак вида внутриимпульсной модуляции $P_{вим}$, признак N_f количества несущих частот в пачке импульсов и другие признаки.

В настоящее время на ЛА широкое применение находят многофункциональные (МФ) БРЛС, которые могут функционировать в режимах, отличающихся видом сигнала, значениями частотно-временных параметров излучения и характером (моделью) их изменения во времени. Эти БРЛС могут решать задачи обзора воздушного пространства и земной поверхности, управления бортовым оружием и полета на малых высотах. Наличие нескольких режимов работы БРЛС обусловлено наличием ряда разнохарактерных задач, которые ЛА должен выполнять в одном полете. Это означает, что функционирование БРЛС в том или ином режиме свидетельствует о состоянии ЛА, под которым понимают конкретную задачу, выполняемую ЛА на соответствующем этапе полета.

Для ЛА военного назначения такими состояниями могут быть состояния навигации, обнаружения, распознавания и сопровождения воздушных и/или наземных (морских) целей, обеспечения полета на малых высотах и ситуационной осведомленности экипажа (пилота) в сложной метеобстановке, применения оружия по воздушным и/или наземным (морским) целям [5, 6]. Каждое состояние ЛА характеризуется набором параметров излучения БРЛС, связанных с режимами функционирования ее передающего устройства и антенной системы. Для распознавания ЛА по параметрам излучения БРЛС каждый класс (тип) ЛА должен быть описан одним или несколькими (по числу режимов работы) эталонными описаниями, представленными ИВЗ параметров, входящих в априорный словарь признаков: $A_{\Sigma}(\alpha_v^{min}, \alpha_v^{max}) = ([f_o^{min}, f_o^{max}], [\tau_u^{min}, \tau_u^{max}], [\Delta F_u^{min}, \Delta F_u^{max}], \dots, [T_{обл}^{min}, T_{обл}^{max}])$. При таком подходе к формированию каталога эталонных описаний процесс распознавания ЛА может быть сведен к последовательному распознаванию режимов БРЛС, классов (типов) БРЛС и классов (типов) ЛА – их носителей.

Источником информации о параметрах излучения БРЛС ЛА военного и гражданского назначения являются сведения об их функциональном назначении, бортовом оборудовании и летно-технических характеристиках, которые публикуются в открытых средствах

массовой информации (в различных справочниках и периодических изданиях, обзорах и отчетах о выставках авиационной техники, рекламных буклетах фирм-разработчиков, а также в сети Интернет) [15, 20-38]. Трудности формирования каталога эталонных описаний ЛА обусловлены тем, что сведения о возможных значениях параметров сигналов БРЛС современных ЛА в доступных для анализа СМИ отсутствуют или являются неполными.

Проиллюстрируем суть предлагаемой методики на примере фрагментов тестового каталога эталонных описаний ЛА, относящихся к различным классам.

ЛА типа КС-135 относится к классу военно-транспортных самолетов и на разных этапах полета может находиться в следующих состояниях: 1) полет в зону дозаправки; 2) дежурство в зоне дозаправки; 3) встреча и дозаправка самолета, подлежащего дозаправке. Переход самолета из одного состояния в другое характеризуется изменением режима работы БРЛС типа AN/APN-59. Эта БРЛС работает в диапазоне частот (9375 ± 25) МГц с импульсами длительностью 0,35; 0,8; 2,25 и 4,5 мкс, излучаемых с частотой повторения 2000, 1025, 350 и 180 Гц соответственно [35]. Модель состояний ЛА типа КС-135 приведена в табл. 1.

БРЛС AN/APN-59 осуществляет обзор пространства в режиме кругового обзора с темпом 6 и 12 об/мин, а в режиме секторного обзора – путем механического сканирования в горизонтальной плоскости в секторе $\pm 100^\circ$ относительно продольной оси самолета с темпом 10-20 качаний в минуту. Для обзора верхней или нижней полусферы ось антенны может быть отклонена соответственно вверх на 10° или вниз на 15° . Экспертно-аналитические оценки параметров сигналов БРЛС типа AN/APN-59, приведены в табл. 2.

При разработке каталога эталонных описаний ЛА типа В-1В предполагалось, что данный ЛА на разных этапах полета может находиться в следующих состояниях: 1) навигация по радиолокационным ориентирам; 2) разведка погоды на маршруте полета; 3) работа с воздушным маяком-ответчиком топливозаправщика; 4) поиск и сопровождение самолета-заправщика (встреча с топливозаправщиком в зоне дозаправки); 5) полет на малой высоте с огибанием рельефа местности (преодоление системы ПВО) или заданным превышением над максимальной точкой маршрута полета; 6) коррекция

Экспертно-аналитические оценки параметров сигналов РЛС AN/APN-59

Режи- мы	$\Delta f_{\text{рц}}$, ГГц	$\tau_{\text{имп}}$, мкс	ΔF_c , МГц	$T_{\text{имп}}$, мкс	$\Delta f_{\text{пач}}$, Гц	$\tau_{\text{пач}}$, мс	$T_{\text{пач}}$, мс	$\tau_{\text{обл}}$, мс	$T_{\text{обл}}$, с
№1	9,3-9,4	4,4-4,6	0,22-0,23	2450-2550	0	42,0-44,0	950-1050	42,0-44,0	0,95-1,05
№2	9,3-9,4	3,5-3,7	0,28-0,3	1900-2100	5,0-15,0	42,0-44,0	2850-1870	42,0-44,0	2,85-2,87
№3	9,3-9,4	1,9-2,1	0,48-0,52	900-1100	5,0-15,0	42,0-44,0	5950-6050	42,0-44,0	5,95-6,05
№4	9,3-9,4	0,3-0,4	2,5-3,3	900-1100	5,0-15,0	42,0-44,0	45,0-46,0	82,0-84,0	0
№5	9,3-9,4	3,5-3,7	0,22-0,23	2400-2600	5,0-10,0	42,0-44,0	1700-1800	42,0-44,0	1,7-1,8
№6	9,3-9,4	0,9-1,1	0,9-1,1	950-1050	5,0-10,0	42,0-44,0	2800-2900	42,0-44,0	2,8-2,9
№7	9,3-9,4	0,3-0,4	2,5-3,3	450-550	10,0-15,0	22,0-24,0	23,0-25,0	42,0-44,0	2,85-2,87

инерциальной навигационной системы (ИНС); 7) поиск наземных объектов (целей); 8) сопровождение наземных движущихся объектов (целей); 9) прицеливание по наземному объекту. Каждое из указанных состояний самолета В-1В характеризуется вектором сигнальных признаков, обусловленных работой на излучение БРЛС типа AN/APQ-164. Перечень состояний ЛА типа В-1В приведен в табл. 3.

В режиме «воздух-земля» БРЛС AN/APQ-164 обеспечивает картографирование земной поверхности реальным лучом и с синтезированием апертуры, обход наземных препятствий в ручном режиме и автоматическое следование рельефу местности на высотах не менее 60 м над равнинной местностью, коррекцию ИНС самолета по скорости, обнаружение и сопровождение наземных движущихся целей, измерение высоты (при полете на средних и больших высотах), работу с наземным радиомаяком. В режиме «воздух-воздух» функциями БРЛС являются разведка погоды, работа с воздушным радиомаяком, обеспечение встречи с самолетом-заправщиком.

При разработке каталога эталонных описаний ЛА типа F-16C/D в зависимости от характера решаемых

задач на разных этапах полета были выбраны следующие группы состояний: 1) полет по заданному маршруту (навигация по радиолокационным ориентирам, полет на малой высоте с огибанием рельефа местности или облетом препятствий; корректировка навигационной системы по сигналам маяков); 2) работа по воздушным целям - оценка воздушной обстановки, поиск, обнаружение, сопровождение и обстрел воздушных целей в верхней (над линией горизонта) и нижней полусфере (на фоне подстилающей поверхности); 3) работа по наземным целям - оценка наземной обстановки, поиск, обнаружение, сопровождение и обстрел наземных стационарных и подвижных целей.

Переход ЛА F-16C/D из одного состояния в другое характеризуется изменением режима работы БРЛС AN/APQ-68. При действии по воздушным целям основными режимами работы БРЛС APQ-68 являются: 1) обнаружение целей в верхней и нижней полусферах с поиском по скорости при использовании высокой частоты повторения импульсов (ВЧПИ) и переходом на среднюю частоту повторения (СЧПИ); 2) обнаружение целей в верхней и нижней полусферах с измерением

Таблица 3

Модель возможных состояний ЛА В-1В

Режимы работы РЛС AN/APQ-164	Нави- гация	Раз- ведка погоды	Работа с маяком ответчи- ком	Преодо- ление системы ПВО	Встреча с топли- возапра- вщиком	Кор- рекция ИНС	Поиск объек- та	Сопро- вожде- ние объекта	Прице- ливание по объекту
№1	×								
№2		×							
№3			×						
№4				×					
№5					×				
№6						×			
№7							×		
№8								×	
№9									×

дальности и использованием СЧПИ; 3) сопровождение нескольких целей (до 10) при сканировании на проходе; 4) сопровождение одиночной цели с использованием ВЧПИ, СЧПИ или НЧПИ (в этом режиме осуществляется подсвет цели при ВЧПИ для применения ракет AIM-7F с полуактивными головками самонаведения); 5) поиск и автоматический захват цели на дальности до 9 км в режимах ближнего воздушного боя: при поиске в поле зрения ИЛС $20 \times 20^\circ$, при вертикальном сканировании антенны (в секторе 10° по азимуту и 40° по углу места) или при ориентации луча БРЛС вдоль продольной оси самолета. Во всех режимах ближнего воздушного боя параметры излучения БРЛС выбираются с учетом обеспечения максимальной скрытности действия по выбранной цели. В режимах поиска сканирование антенны может производиться в секторах $\pm 10^\circ$, $\pm 30^\circ$ и $\pm 60^\circ$ по азимуту при одной, двух или четырех строках развертки по углу места в определенных сочетаниях.

При действии по наземным целям основными режимами работы БРЛС APG-68 являются: 1) картографирование земной поверхности реальным лучом диаграммы направленности антенны (ДНА) в секторе $\pm 60^\circ$ по азимуту с масштабами 18,5; 37; 148; 296 км; 2) картографирование земной поверхности при доплеровском «обострении» ДНА с кратностью 64 при визировании под углами $\pm(15 \dots 60^\circ)$ к продольной оси самолета по азимуту; 3) обнаружение морских целей с перестройкой несущей частоты от импульса к импульсу, с использованием когерентного излучения и доплеровской фильтрации при приеме; 4) измерение дальности до наземных (морских) целей с использованием «псевдоимпульсного» режима излучения; 5) обнаружение наземных движущихся целей; 6) сопровождение обнаруженной наземной (морской) цели; 7) следование рельефу местности или облет препятствий; 8) работа с маяками-ответчиками.

Из изложенного следует, что при формировании априорного описания ЛА типа F-16C/D особое

внимание должно быть уделено установлению соответствия между состояниями ЛА и параметрами излучения БРЛС типа AN/APG-68 в соответствующем режиме функционирования. Модель возможных состояний ЛА типа F-16C/D является достаточно сложной и в данной работе не приводится.

Эталонные значения параметров излучения БРЛС AN/APG-77 и AN/APQ-164 при работе их в режимах, выбранных для описания состояний ЛА типа F-16C/D и В-1В, формируются экспертно-аналитическим методом с учетом принципов их функционирования и данных, содержащихся в открытых средствах массовой информации.

При формировании априорных описаний ЛА типа Е-3С и Е-2С в качестве основных были выбраны следующие возможные состояния: 1) поиск и сопровождение воздушных (надводных) целей; 2) оповещение о воздушной (надводной) обстановке; 3) наведение истребителей ПВО на воздушные (надводные) цели. Каждое из этих состояний характеризуется вектором сигнальных признаков, обусловленных работой на излучение БРЛС типа AN/APY-2 или AN/APS-145 соответственно. Особенностью применения БРЛС AN/APY-2 и AN/APS-145 является работа их на излучение в течение всего времени выполнения поставленной задачи. В связи с этим основной целью разработки типовых моделей функционирования этих РЛС является установление однозначной связи между параметрами излучения, режимами работы и задачами радиолокационной разведки, решаемыми в тот или иной момент времени.

БРЛС типа AN/APY-2 может работать в следующих режимах: 1) импульсно-доплеровский без сканирования луча в вертикальной плоскости (режим №1); 2) импульсно-доплеровский со сканированием луча по углу места для оценки высоты полета воздушных целей (режим №2); 3) надгоризонтный поиск (с отсечкой сигналов ниже линии горизонта) без доплеровской селекции

Таблица 4

Экспертно-аналитические оценки параметров сигналов БРЛС типа AN/APS-145

Режимы	$\Delta f_{рч}$, ГГц	$\tau_{имп}$, мкс	ΔF_c , МГц	$T_{имп}$, мкс	$\Delta f_{нач}$, МГц	$\tau_{нач}$, мс	$T_{нач}$, мс	$\tau_{обл}$, мс	$T_{обл}$, с
№1	0,41-0,46	18,5-19,5	1,2-1,4	4450-4650	3,0-5,0	225-235	11900-12100	225-235	11,9-12,1
№2	0,41-0,46	18,5-19,5	1,2-1,4	4450-4650	0	390-400	19500-20500	390-400	19,5-20,5
№3	0,41-0,46	15,5-16,5	0,9-1,0	3300-4300	5,0-9,0	190-200	9900-10100	190-200	9,9-10,1
№4	0,41-0,46	14,5-16,5	0,9-1,1	3300-4300	0	390-400	19500-20500	390-400	19,5-20,5
№5	0,41-0,46	12,0-14,0	0,7-1,0	3500-3700	7,0-9,0	225-235	11900-12100	225-235	11,9-12,1
№6	0,41-0,46	10,0-12,0	1,0-1,2	3500-3700	0	390-400	19500-20500	390-400	19,5-20,5
№7	0,41-0,46	8,0-10,0	1,2-1,3	3300-4600	8,0-9,9	190-200	9900-10100	190-200	9,9-10,1
№8	0,41-0,46	7,0-8,0	1,4-1,5	3300-4600	8,0-9,9	390-400	19500-20500	390-400	19,5-20,5

(режим №3); 4) обзор движущихся и неподвижных надводных целей короткими импульсами (режим №4); 5) совмещение (в любой комбинации) вышеуказанных режимов.

БРЛС типа AN/APS-145 работает в диапазоне частот (410-460) МГц на одной из 16 предварительно настроенных частот [35]. Длительность излучаемых импульсов $\tau_{\text{и}}=(12\pm 5)$ мкс, частота повторения $F_{\text{и}}\sim 300$ Гц, (используются три значения частоты повторения излучаемых импульсов для устранения эффекта «слепых» скоростей в режиме селекции движущихся целей). Эта РЛС может работать в режимах: 1) обнаружение целей на фоне земной поверхности; 2) обнаружение целей на фоне морской поверхности; 3) обнаружение целей над горизонтом; 4) обнаружение целей над земной и морской поверхностями. Экспертно-аналитические оценки параметров сигналов, излучаемых РЛС AN/APS-145 в указанных режимах, приведены в табл. 4.

Приведенные фрагменты каталога эталонных описаний классов (типов) и состояний ЛА не претендуют на полноту и новизну, но показывают принципиальную возможность решения задачи формирования классифицированной обучающей выборки на этапе разработки имитационно-математической модели проектируемой системы распознавания для средств РЭН. На основе изложенной методики для тестирования математической модели процесса распознавания радиоизлучающих ЛА, структурная схема и принцип действия которой описаны в [39], был разработан каталог эталонных описаний, содержащий более 100 векторов априорного описания 26-и типов БРЛС и 26-и типов ЛА на выбранном языке сигнальных признаков.

ВЫВОДЫ

Для эффективного решения задачи распознавания радиоизлучающих ЛА в состав средств РЭН должны входить базы данных (БД), содержащие эталонные описания классов (типов) распознаваемых объектов на языке сигнальных признаков, связанных со структурой и параметрами излучаемых ими сигналов. Эталонные описания распознаваемых классов (типов) и состояний ЛА формируются экспертно-аналитическим методом на основе априорных данных о типах, режимах работы и параметрах излучения БРЛС, входящих в состав радиоизлучающих воздушных объектов. Точность, полнота и достоверность этих данных во многом будут определять вид и структуру алгоритмов распознавания, рабочие алфавиты распознаваемых классов (типов) и состояний объектов, а также рабочие словари их сигнальных признаков.

Результатом решения задачи формирования каталога эталонных описаний ЛА является классифицированная обучающая выборка, представляющая собой таблицу типа «объект-свойство», строки которой помечены названиями классов ЛА, а столбцы - названиями признаков, при этом эталонные описания классов (типов) и состояний ЛА в строках данной таблицы должны быть представлены интервалами возможных значений параметров излучений бортовых РЛС, входящих в априорный словарь сигнальных признаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гряник В. Н., Павликов С. Н., Убанкин Е. И. Средства радиоэлектронного наблюдения. Владивосток: ВГУЭС, 2006. 200 с.
2. Методы и средства идентификации источников радиоизлучения / Е. А. Башков, и др.; под ред. проф. А. А. Зори. Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2010. 345 с.
3. Федотов А. А., Шпак В. Ф. Минимизация временных затрат на решение задачи классификации образов радиотехнических сигналов. Автоматизация процессов управления, 2013. № 1 (31). С. 17-20. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://aru.promars.com/images/pdf/31_3.pdf.
4. Алексеев А. А., Кириллов А. Б. Технический анализ сигналов и распознавание радиоизлучений. СПб.: Изд-во ВАС им. С. М. Буденного, 1998. 368 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/1581717>.
5. Николаев И. М., Попонин Ю. А., Закиров С. В. Принципы построения, структура и содержание баз данных о радиоизлучающих объектах для многофункциональных комплексов РЭБ. Сб. научных тр. Харьковского ун-та Воздушных Сил, 2009. Вып. 1(19). С. 70-73.
6. Николаев И. М., Адаменко А. А., Закиров С. В., Асанов Э. Э. Статистический синтез алгоритма распознавания источников радиоизлучений по сигнальным признакам интервального типа. Радиотехника: Всеукраинский межведомственный технический сб. ХНУРЭ, 2001. Вып. 123. С. 122–124.
7. Гетманчук А. В. Высокопроизводительные метод и алгоритмы автоматической классификации объектов в условиях параметрической неопределенности и пересечения классов на основе методологии с системной максимизацией энтропии. Известия ЮФУ. Технические науки, 2016. С. 39-52.
8. Жукевич А. И., Олизарович Е. В., Родченко В. Г. Метод автоматического выполнения процедуры обучения при построении системы распознавания. Гродно: Вестн. Гродненского гос. ун-та имени Янки Купалы, 2011. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://elib.grsu.by/katalog/161721-346625.pdf>.
9. Жукевич А. И., Олизарович Е. В., Родченко В. Г. Метод построения эталонов состояний компьютерной сети на основе применения алгоритмов теории распознавания образов. Минск: БГУ, 2007. С. 14 – 17 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/92467/1/Untitled3.pdf>.
10. Жукевич А. И., Родченко В. Г. Об одном методе построения формальных образов классов при реализации систем распознавания. Изв. Гомельского гос. ун-та имени Ф. Скорины. Гомель, 2010. №5 (62). С. 70-83.
11. Родченко В. Г. Об одном методе построения компактных эталонов классов при проектировании систем распознавания образов. Известия Гомельского гос.

- ун-та имени Ф. Скорины, Гомель, 2004. № 4 (25). С. 114-117.
12. Мельников Ю. П. Воздушная радиотехническая разведка. Методы оценки эффективности. М.: Радиотехника, 2005. 304 с.
 13. Нечаев Е. Е., Дерябин К. С. Современные бортовые радиолокационные станции и антенные решетки многофункциональных авиационных комплексов военного назначения (по материалам открытой печати). Научный Вестн. МГТУ ГА. 2015. № 221. С. 90-105.
 14. Антипов В. Н., Меркулов В. И., Самарин О. Ф., Чернов В. С. Основные направления развития авиационных бортовых РЛС. Успехи современной радиоэлектроники, 2009. № 10. С. 7-28 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.twirpx.com/file/390482>.
 15. Перумов Ю. М., Мацукевич В. В., Васильев А. А. Зарубежные радиоэлектронные средства / под ред. Ю. М. Перумова. В 4 кн. Кн. 1. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 2010. 336 с.
 16. Дудник П. И., Ильчук А. Р., Татарский Б. Г. Многофункциональные радиолокационные системы. Уч. пособие для вузов / под ред. Б. Г. Татарского, М.: Дрофа, 2007. – 283 с.
 17. Верба В. С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения, проблемы разработки и особенности функционирования. М.: Радиотехника, 2014. 526 с.
 18. Верба В. С. Обнаружение наземных объектов. Радиолокационные системы обнаружения и наведения воздушного базирования. М.: Радиотехника, 2007. 360 с.
 19. Ярлыков М. С., Богачев А. С., Меркулов В. И., Дрогалин В. В. Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания и управления вооружением летательных аппаратов. Т. 2. Применение авиационных радиоэлектронных комплексов при решении боевых и навигационных задач / под ред. М. С. Ярлыкова. М.: Радиотехника, 2012. 256 с.
 20. Антипов В. Н. и др. Многофункциональные радиолокационные комплексы истребителей / под ред. В. Н. Лепина. М.: Радиотехника, 2014. 296 с.
 21. Рябкин Ю. В. Установление информативных параметров типовых источников радиоизлучений для их идентификации. Сб. науч. тр. Донецкого нац. технического ун-та. Серия: “Вычислительная техника и автоматизация”. Вып. 88. Донецк: ДонНТУ, 2005. С. 145-152 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ea.donntu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/16330/1/145-151.pdf>.
 22. Боков А. Радиоэлектронное оборудование бомбардировщика В-1В / Зарубежное военное обозрение №2 1989 С. 44-50 [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://pentagonus.ru/publ/radioehlektronnoe_oborudovanie_bombardirovshhika_b_1b/18-1-0-1288.
 23. Бобков А. БРЭО тактического истребителя F-16. Зарубежное военное обозрение, 2007. № 12. С. 50-57 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pentagonus.ru/publ/18-1-0-546>.
 24. Михов М. Прицельные РЛС самолётов тактической авиации стран НАТО. // Зарубежное военное обозрение, 1990. №8. С. 38-43 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pentagonus.ru/publ/16-1-0-679>.
 25. Бобков А. Авиационные средства дальнего радиолокационного обнаружения и управления иностранных государств (Е-2С). Зарубежное военное обозрение, 2006. № 6. С. 43-46 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://pentagonus.ru/publ/17-1-0-338>.
 26. AWACS Surveillance Radar [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.northropgrumman.com/capabilities/awacsapy2/documents/awacs.pdf>.
 27. Кедров С. Большой небесный глаз. Самолет радиолокационного дозора США Hawkeye E-2 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.aviation-gb7.ru/E-2.htm>.
 28. E-2C Hawkeye. Авиационная энциклопедия «Уголок неба». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.airwar.ru/enc/spy/e2c.html>.
 29. Никольский М. С. В-1В [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.aviation-gb7.ru/B-1.htm>.
 30. Дальний топливозаправщик KC-135 Stratotanker [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://worldweapon.ru/sam/kc135.php>.
 31. KC-135. Авиационная энциклопедия «Уголок неба» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.airwar.ru/enc/craft/kc135.html>.
 32. F-16E/F Block 60 Desert Falcon / Авиационная энциклопедия «Уголок неба» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.airwar.ru/enc/fighter/fl16df.html>.
 33. AN/APG-77 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/AN/APG-77>.
 34. AN/APG-79 AESA Radar Active Electronically Scanned Array [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.raytheon.com/capabilities/products/apg79aesa>.
 35. AN/APS-145. Advanced Airborne Surveillance Radar [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://digilandlibero.it/humboldt/pdf/ANAPS-145.pdf>.
 36. AN/APQ-164(V) - Archived 10/97 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.forecastinternational.com/archive/dispatch_old_pdf.cfm?
 37. РЛС AN/APQ-164 бомбардировщика В-1В [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.militaryparitet.com>.
 38. AN/APN-59 [Электронный ресурс] – Режим доступа: / <http://www.radartutorial.eu/19.kartei/08.airborne/karte027.en.html>.
 39. Николаев І. М. Математична модель комплексного розпізнавання повітряних радіовипромінюючих об'єктів за сукупністю параметрів сигналів бортових радіолокаційних станцій і засобів радіозв'язку в системах радіоелектронного спостереження. Озброєння та військова техніка, Київ: ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2017. №4 (16). С. 39-45.

REFERENCES

- Gryanik, V. N., Pavlikov, S. N. and Ubankin, E. I. (2006), "Sredstva radioelektronnogo nablyudeniya" [Means of radio-electronic surveillance], VSUES, Vladivostok, 200 p.
- Bashkov, E. A., Vorontsov, A. G., Grishko, N. M, i dr.; pod red. prof. Zori, A.A. (2010), "Metody i sredstva identifikatsii istochnikov radioizlucheniya" [Methods and means of identification of radio emission sources], GVUZ «DonNTU», Donetsk, 345 p.
- Fedotov, A. A. and Shpak, V. F. (2013), "Minimizatsiya vremennykh zatrat na resheniye zadachi klassifikatsii obrazov radiotekhnicheskikh signalov" [Minimizing the time spent on solving the problem of the classification of radio signal patterns], *Automation of management processes*, No 1 (31), pp. 17-20, available at: http://apu.npomars.com/images/pdf/31_3.pdf.
- Alekseyev, A. A. and Kirillov, A. B. (1998), "Tekhnicheskii analiz signalov i raspoznavaniye radioizlucheniya" [Technical analysis of signals and recognition of radio emissions], ed. YOU them S.M. Budyony, SPb, 368 p., available at: <https://www.twirpx.com/file/1581717>.
- Nikolaev, I. M., Poponin, Y. A. and Zakirov, S. V. (2009), "Printsipy postroyeniya, struktura i sodержaniye baz dannykh o radioizluchayushchikh ob'yektakh dlya mnogofunktional'nykh kompleksov REB" [The principles of construction, structure and content of databases on radio-emitting objects for multifunctional EW complexes], *Zbirnik naukovikh prats' Kharkivs'kogo universitetu Povitryanikh Sil*, vol. 1(19), pp. 70-73.
- Nikolaev, I. M., Adamenko, A. A., Zakirov, S. V. and Asanov E. E. (2001), "Statisticheskii sintez algoritma raspoznavaniya istochnikov radioizlucheniya po signal'nym priznakam interval'nogo tipa" [Statistical synthesis of the algorithm for recognizing radio emission sources according to signal signs of an interval type], "Radio Engineering": All-Ukrainian Interdepartmental Technical Coll., *KNURE*, vol. 123, pp. 122-124.
- Getmanchuk, A. V. "Vysokoproizvoditel'nyye metod i algoritmy avtomaticheskoy klassifikatsii ob'yektov v usloviyakh parametricheskoy neopredelennosti i pere-secheniya klassov na osnove metodologii s sistemnoy maksimizatsiyey entropii" [High-performance method and algorithms for the automatic classification of objects under conditions of parametric uncertainty and the intersection of classes based on methodology with systemic maximization of entropy], *Izvestiya SFU. Technical science*, pp. 39-52.
- Zhukevich, A. I., Olizarovich, E. V. and Rodchenko, V. G. (2011), "Metod avtomaticheskogo vypolneniya protsedury obucheniya pri postroyenii sistemy raspoznavaniya" [Method of automatic execution of the training procedure when building a recognition system], *Vestn. of the Yanka Kupala State Univ. of Grodno*, available at: <https://elib.grsu.by/katalog/161721-346625.pdf>.
- Zhukevich, A. I., Olizarovich, E. V. and Rodchenko, V. G. (2007), "Metod postroyeniya etalonov sostoyaniy komp'yuternoy seti na osnove primeneniya algoritmov teorii raspoznavaniya obrazov" [A method for constructing computer network state standards based on the use of pattern recognition theory algorithms], *Minsk: BSU, 2007. Pp. 14-17*, available at: <http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/92467/1/Untitled3.pdf>.
- Zhukevich, A. I. and Rodchenko, V. G. (2010), "Ob odnom metode postroyeniya formal'nykh obrazov klassov pri realizatsii sistem raspoznavaniya" [On One Method for Constructing Formal Images of Classes When Implementing Recognition Systems], *Proc. of F. Skaryna Gomel State Univ.*, No (62), pp. 70-83.
- Rodchenko, V. G. (2004), "Ob odnom metode postroyeniya kompaktnykh etalonov klassov pri proyektirovanii sistem raspoznavaniya obrazov" [On one method of constructing compact class standards when designing image recognition systems], *News of Gomel State Univ. named after F. Skaryna*, No 4 (25), pp. 114-117.
- Mel'nikov, Y. P. (2005), "Vozdushnaya radiotekhnicheskaya razvedka. Metody otsenki effektivnosti" [Airborne Radiotechnical Intelligence. Methods for evaluating the effectiveness], *Radio Engineering*, 304 p.
- Nechayev, E. E. and Deryabin, K. S. (2015), "Sovremennyye bortovyye radiolokatsionnyye stantsii i antennyye reshetki mnogofunktional'nykh aviatsionnykh kompleksov voyennogo naznacheniya (po materialam otkrytoy pechati)" [Modern airborne radiolocation stations and antenna arrays of multifunctional aviation complexes for military purposes (based on open press materials)], *Scientific Her. of MGTU GA*, No 221, pp. 90-105.
- Antipov, V. N., Merkulov, V. I., Samarin, O. F. and Chernov, V. S. (2009), "Osnovnyye napravleniya razvitiya aviatsionnykh bortovyykh RLS" [The main directions of development of airborne radar], *Successes of modern radio electronics*, No 10, pp. 7-28, available at: <https://www.twirpx.com/file/390482>.
- Perumov, Yu. M., Matsukevich, V. V., Vasil'yev A. A., pod red. Perumova, Yu. M. (2010), "Zarubezhnyye radioelektronnyye sredstva", kn. 1. "Radiolokatsionnyye sistemy" [Foreign Radioelectronic Means, B. 1. Radar systems], *Radio Engineering*, M., 336 p.
- Dudnik, P. I., Il'chuk, A. R. and Tatarskiy, B. G. "Mnogofunktional'nyye radiolokatsionnyye sistemy" [Multifunctional radar systems, manual for univ.], Drofa, M. 283 p.
- Verba, V. S. (2014), "Aviatsionnyye komplekсы radiolokatsionnogo dozora i navedeniya. Printsipy postroyeniya, problemy razrabotki i osobennosti funktsionirovaniya" [Aviation complexes of radar patrol and guidance. Principles of construction, problems of development and features of functioning], *Radio Engineering*, M. 526 p.
- Verba, V. S. (2007), "Obnaruzheniye nazemnykh ob'yektov. Radiolokatsionnyye sistemy obnaruzheniya i navedeniya vozdushnogo bazirovaniya" [Detection of ground objects. Airborne detection and guidance radar systems], *Radio Engineering*, M. 360 p.
- Yarlykov, M. S., Bogachev, A. S., Merkulov, V. I. and Drogalin, V. V. (2012), "Radioelektronnyye komplekсы navigatsii, pritselivaniya i upravleniya vooruzheniyem letatel'nykh apparatov". T. 2. "Primeneniye aviatsionnykh radioelektronnnykh kompleksov pri reshenii boyevykh i navigatsionnykh zadach" [Radio-electronic

- systems of navigation, aiming and controlling the armament of aircraft. V. 2. Use of aviation radio-electronic complexes in solving combat and navigation tasks], *Radio Engineering*, M. 256 p.
20. Antipov, V. N., Koltyshev, E. E., Kondratenkov, G. S. and Lepin, V. N. (2014), "Mnohofunktsional'nye radyolokatsionnye komplekсы ystrebyteley" [Multifunctional radar complexes of fighter], *Radio Engineering*, M. 296 p.
 21. Ryabkyn, Yu. V. (2005), "Ustanovlenye ynfornatyvnykh parametrov tipovykh ystochnykov radyoyzlucheny dlya ykh ydentyfikatsyy" [Determination of informational parameters of typical sources of radio emission for their identification], *Scientific proc. of Donetsk Nat. Techn. Univ. Series: "Computing and Automation"*. Vol. 88, DonNTU, Donetsk, pp. 145-152, available at: <http://ea.donntu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/16330/1/145-151.pdf>.
 22. Bobkov, A. (1989), "Radioelektronnoye oborudovaniye bombardirovshchika B-1B" [Radio-electronic equipment of a B-1B bomber], *Foreign Military Review*, No 2, pp. 44-50, available at: http://pentagonus.ru/publ/radioelektronnoe_oborudovanie_bombardirovshchika_b_1b/18-1-0-1288.
 23. Bobkov, A. (2007), "BREO takticheskogo istrebitelya F-16" [F-16 tactical fighter air-borne units], *Foreign military review*, No 12, pp. 50-57, available at: <http://pentagonus.ru/publ/18-1-0-546>.
 24. Mihov, M. (1990), "Pritsel'nyye RLS samolotov takticheskoy aviatsii stran NATO" [Sighting radar tactical aircraft of NATO countries], *Foreign Military Review*, No 8, pp. 38-43, available at: <http://pentagonus.ru/publ/16-1-0-679>.
 25. Bobkov, A. (2006), "Aviatsionnyye sredstva dal'nego radiolokatsionnogo obnaruzheniya i upravleniya inostrannykh gosudarstv (E-2C)" [Aviation means of long-range radar detection and control of foreign states (E-2C)], *Foreign military review*, No 6, pp. 43-46, available at: <http://pentagonus.ru/publ/17-1-0-338>.
 26. AWACS Surveillance Radar, available at: <http://www.northropgrumman.com/capabilities/awacsapy2/documents/awacs.pdf>.
 27. Kedrov, S. "Bol'shoy nebesnyy glaz. Samolet radiolokatsionnogo dozora SSHA Hawkeye E-2" [Big heavenly USA Hawkeye E-2 radar patrol aircraft], available at: <http://www.aviation-gb7.ru/E-2.htm>.
 28. «E-2C Hawkeye. Aviatsionnaya entsiklopediya «Ugolok neba» [E-2C Hawkeye. Aviation Encyclopedia «Sky Corner»], available at: <http://www.airwar.ru/enc/spy/e2c.html>.
 29. Nikolsky, M. S. B-1B, available at: <http://www.aviation-gb7.ru/B-1.htm>.
 30. «Dal'niy toplivozapravshchik KC-135 Stratotanker» [Far tanker KC-135 Stratotanker], available at: <http://worldweapon.ru/sam/kc135.php>.
 31. «KC-135. Aviatsionnaya entsiklopediya «Ugolok neba» [KC-135. Aviation Encyclopedia «Corner of the Sky»], available at: <http://www.airwar.ru/enc/craft/kc135.html>.
 32. «F-16E/F Block 60 Desert Falcon. Aviatsionnaya entsiklopediya «Ugolok neba» [F-16E / F Block 60 Desert Falcon. Aviation Encyclopedia «Corner of the Sky»], available at: <http://www.airwar.ru/enc/fighter/fl6df.html>.
 33. AN/APG-77, available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/AN/APG-77>.
 34. AN/APG-79. AESA Radar Active Electronically Scanned Array, available at: <https://www.raytheon.com/capabilities/products/apg79aesa>.
 35. AN/APS-145. Advanced Airborne Surveillance Radar, available at: <http://digilander.libero.it/humboldt/pdf/ANAPS-145.pdf>.
 36. AN/APQ-164(V), Archived 10/97, available at: https://www.forecastinternational.com/archive/disp_old_pdf.cfm
 37. Radar AN/APQ-164 bomber B-1B, available at: <http://www.m.rilitaryparitet>.
 38. AN/APN-59, available at: <http://www.radartutorial.eu/19.kartei/08.airborne/karte027.en.html>.
 39. Nikolaev, I. M. (2017), "Matematychna model' kompleksnoho rozpoznavannya povitryanykh radiovyprominyuyuchykh ob'yektiv za sukupnistyu parametriv syhnaliv bortovykh radiolokatsiynykh stantsiy i zasobiv radiozv'yazku v systemakh radioelektronnoho sposterezhennya" [Mathematical model of complex recognition of airborne radio-radiation objects in a set of signal parameters of on-board radar stations and radio communication equipment in systems of radio-electronic observation], *Weapons and military equipment*, No 4(16), pp. 39-45.

Відомості про автора:

Николаев Иван Михайлович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник научного центра Воздушных Сил Харьковского национального университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, г. Харьков, Украина
<https://orcid.org/0000-0002-1250-9918>
 e-mail: nikolaev49@ukr.net

Information about the author:

Ivan Nikolaev

Candidate of Sciences, Senior Research Associate worker of scientific center of Aircrafts Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1250-9918>
 e-mail: nikolaev49@ukr.net

Статья поступила в редколлегию 11.06.2019 г.

Рецензент Г. С. Залевський д-р техн. наук
 (Науковий центр Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, м. Київ)

Рецензент О. О. Расстригін д-р техн. наук, професор (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-1482-6111>

УДК 623.463.54

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3\(23\).78-83](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3(23).78-83)**А. Л. ЗІРКА**, кандидат технічних наук<https://orcid.org/0000-0001-5304-2894>**В. І. СІЛКОВ**, кандидат технічних наук, доцент<https://orcid.org/0000-0003-4446-212X>**О. А. ЖЕВТЮК**, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник<https://orcid.org/0000-0002-6337-4750>(Центральний науково-дослідний інститут
озброєння та військової техніки Збройних Сил
України, м. Київ)

Методика розрахунку діапазону кутів та швидкостей зустрічі ракети з перешкодою для спрацювання підривного пристрою

У статті запропоновано методичний підхід та наведено результати чисельного експерименту щодо розрахунку та підтвердження заданих параметрів функціонування запобіжно-виконуючого механізму для надійного підриву бойової частини при різних умовах зустрічі некерованої авіаційної ракети з поверхнею. З метою підтвердження результатів розрахункової методики у статті розглянуто спосіб натурного відтворення процесу спрацювання запобіжно-виконуючого механізму, а також наведено принципову схему та опис роботи такого випробувального пристрою.

Ключові слова: некерована авіаційна ракета, натурне відтворення, некерована ракета класу повітря-поверхня

В статье предложен методический подход и приведены результаты численного эксперимента относительно расчета и подтверждения заданных параметров функционирования предохранительно-исполняющего механизма для надежного подрыва боевой части при разных условиях встречи управляемой авиационной ракеты с поверхностью. С целью подтверждения результатов расчетной методики в статье рассмотрен способ натурного воспроизведения процесса срабатывания предохранительно-исполняющего механизма, а также приведена принципиальная схема и описание работы такого испытательного устройства.

Ключевые слова: управляемая авиационная ракета, натурное воспроизведение, управляемая ракета класса воздух-поверхность

ВСТУП

За досвідом практичного застосування некерованих авіаційних ракет (НАР) типів С-5, С-8 зафіксовано значну кількість нерозривів ракет, особливо при зустрічі з ґрунтовою поверхнею на великих кутах до нормалі.

Тому при розробці нових НАР, серед інших, висуваються вимоги до надійного спрацювання підривного пристрою при широкому діапазоні кутів зустрічі ракети з поверхнею (ціллю) ($0^\circ \dots 80^\circ$ до нормалі).

Для забезпечення надійного підриву ракети у широкому діапазоні кутів зустрічі з поверхнею, окрім контактного підривного пристрою передбачено запобіжно-виконуючий механізм (ЗВМ), принцип дії якого побудовано на переміщенні інерційного механізму під впливом перевантаження, а саме: взведення, при старті; спрацювання при зіткненні ракети з поверхнею.

При цьому, під час проведення випробувань виробів виникають ускладнення з відтворення умов перевірки спрацювання ЗВМ при значних кутах ($60^\circ \dots 80^\circ$) до нормалі зустрічі ракети з ціллю.

За таких умов при проведенні приймально-здавальних випробувань НАР виникає актуальне завдання з математичного моделювання процесу функціонування ЗВМ при різних умовах зустрічі НАР з поверхнею для оцінки його відповідності заданим вимогам.

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ

Метод математичного моделювання процесів функціонування ЗВМ при різних умовах зустрічі НАР з поверхнею дозволяє здійснити оцінку неконтрольованих параметрів в ході приймально-здавальних випробувань зазначеного авіаційного засобу ураження.

Далі у статті розглянемо математичне моделювання такого процесу для конкретної НАР та отримані результати за запропонованою розрахунковою методикою.

На першому етапі наведемо розрахунки необхідних діапазонів кутів та швидкостей зустрічі ракети з перешкодою для забезпечення спрацювання підривного пристрою.

При цьому, при застосуванні ракети по наземних цілях будемо розглядати два характерних види поверхні: пісок природної вологості з коефіцієнтом проникнення: $k_{II} = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{кг}$;

залізобетон з коефіцієнтом проникнення $k_{II} = 0,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{кг}$.

В залежності від умов пуску ракета може здійснювати зіткнення з перешкодою (ціллю) у достатньо широкому діапазоні кутів нахилу траєкторії: $\theta = 25^\circ \dots 90^\circ$ ($\lambda = 75^\circ \dots 0^\circ$ до нормалі), а її рух через перешкоду (проникнення) характеризуватиметься наступними параметрами:

глибина проникнення h , м;

лінійне прискорення j_x , м/с²;

тангенціальне перевантаження $n_x = F/gm$;

величина сили опору перешкоди X_a [Н].

Максимальну глибину проникнення можна обчислити за наступним співвідношенням:

$$h = k_d k_{II} k_{II} (m l d^2) V_c \cos((k_\lambda (90 - \theta))), \quad (1)$$

де:

Таблиця 1

Вихідні характеристики ракети і поверхні ураження

m_0 , кг	m_T , кг	m , кг	d , м	l_T , м	k_d	$k_{Г бет}$	$k_{Г гр}$	$k_{П бет}$	$k_{П грунт}$	$k_{\lambda 1}$	$k_{\lambda 2}$
12,8	4,6	8,2	0,08	0,21	0,8389	1,262	1	$0,9 \cdot 10^{-6}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$	1,5938	1

Таблиця 2

Параметри удару по ґрунту

Параметри	Розрахункові значення			
V , м/с	139	167	194	222
V , км/год	500	600	700	800
h , м ($\lambda=0^\circ$)	0,6718	0,8061	0,9405	1,0748
h , м ($\lambda=75^\circ$)	0,1739	0,2087	0,2435	0,2783
$-j$, м/с ² ($\lambda=0^\circ$)	14358	17229	20101	22972
$-j$, м/с ² ($\lambda=75^\circ$)	3717	4461	5204	5948
$-n_x$ ($\lambda=0^\circ$)	1464	1756	2049	2342
$-n_x$ ($\lambda=75^\circ$)	378,9	454,7	530,5	606,3
$-X_a$ ($\lambda=0^\circ$), кг	12001	14402	16802	19202
$-X_a$ ($\lambda=75^\circ$), кг	3107	3729	4350	4972

$$k_d = 2,8\sqrt[3]{d} - 1,3\sqrt{d};$$

$$k_{Г} = 0,5 + 0,4\sqrt[3]{(l_T/d^2)} - \text{для залізобетону};$$

$$k_{Г} = 1 - \text{для ґрунту};$$

$$k_{\lambda} = 2,25 - 0,25l_T/d - \text{для залізобетону};$$

$$k_{\lambda} = 1 \text{ для ґрунту};$$

$$l_T - \text{довжина головної частини ракети};$$

$$V_y = V \sin \theta = V \cos \lambda - \text{вертикальна швидкість зустрічі з перешкодою};$$

$$m - \text{маса ракети в момент зустрічі з перешкодою [кг];}$$

$$d - \text{максимальний діаметр корпусу ракети [м]}.$$

Розрахункові формули для визначення взаємодії ракети з перешкодою отримуємо при наступних припущеннях: якщо h , V_y – поточні величини, то можна записати:

$$\begin{aligned} V_y &= dh/d; \\ j &= dV_y/dt. \end{aligned}$$

Виключивши з них dt , можна отримати $dh/dV_y = V_y/j$, або

$$dh = \frac{V_y dV_y}{j_x}, \text{ звідси } h = \int_{V_{y_e}}^0 \frac{V_y dV_y}{j_x},$$

$$\text{та при } j_x = j_{cp} = \text{const маємо } h = \frac{V_y^2}{2j_{cp}} \text{ або } j_{cp} = \frac{V_y^2}{2h}. \quad (2)$$

Таким чином, по величині швидкості входу і максимальній глибині входу ракети отримуємо її середнє прискорення при русі в перешкоді, а також середню величину тангенціального перевантаження n_x і сили опору X_a :

$$n_x = \frac{j_{cp}}{g}, \quad X_a = mn_x. \quad (3)$$

Для розрахунку діючих сил приймалися значення коефіцієнтів, приведені в табл. 1.

Розрахунки виконувалися для двох кутів підходу ракети до поверхні ураження відносно нормальній осі:

$\lambda = 75^\circ$ і 0° , які відповідають кутам нахилу траєкторії польоту ракети відповідно $\theta = 25^\circ$ і 90° .

Розрахунок удару НАР по ґрунту

Визначимо діапазон швидкостей підходу НАР до поверхні ураження 500...800 км/год (139...222 м/с). Результати розрахунків для входу ракети в ґрунт під кутами $\lambda = 0^\circ$ і $\lambda = 75^\circ$ наведені в табл. 2.

При істинній швидкості 500 км/год і куті входу $\lambda = 0^\circ$ (стрімке пікірування) ракета проникає в ґрунт на глибину 0,67 м з середнім прискоренням 14358 м/с², з тангенціальним перевантаженням 1464, що відповідає середній силі опору ґрунту 12001 кг.

Якщо змінити кут входу в ґрунт до $\lambda = 75^\circ$, то лобова сила опору зменшиться до 3107 кг, тобто майже у 4 рази.

Підвищення істинної швидкості входу значно збільшує значення всіх наведених параметрів. Так, при швидкості 800 км/год сила опору стає рівною 4972 кг.

Розрахунок удару НАР по залізобетону

Залізобетонне покриття має суттєво менший коефіцієнт проникнення $k_{П}$, що забезпечує меншу глибину проникнення. Так, залізобетон на цементі марки 300 має $k_{П} = 0,9 \cdot 10^{-6}$ м²/с/кг.

Для оцінки взаємодії ракети з залізобетоном були виконані розрахунки, аналогічні попереднім. Характеристики залізобетону задані в табл. 1. Результати розрахунків наведені в табл. 3.

Звертають на себе увагу, насамперед, значно менші значення глибини проникнення у покриття. Так, при русі ракети по нормалі ($\lambda = 0^\circ$) вхід її в залізобетонну плиту на швидкості 500 км/год складає всього 0,17 м, а на швидкості 800 км/год – 0,27 м. При цьому сила опору в першому випадку складає 47580 кг, а при $\lambda = 75^\circ$ – 12319 кг.

Перевірка спрацювання підривного пристрою

Для вихідних даних розрахунку наведемо характеристики конкретного ЗВМ, що застосовується у НАР калібру 80 мм.

Параметри удару по залізобетону

Параметри	Розрахункові значення			
V , км/год	500,0	600,0	700,0	800,0
h , м ($\lambda=0^\circ$)	0,16944	0,20333	0,23722	0,27111
h , м ($\lambda=75^\circ$)	0,04387	0,05264	0,06142	0,07019
$-j$, м/с ² ($\lambda=0^\circ$)	56923	68307	79692	91076
$-j$, м/с ² ($\lambda=75^\circ$)	14738	17686	20633	23581
$-n_x$ ($\lambda=0^\circ$)	5802	6963	8123	9284
$-n_x$ ($\lambda=75^\circ$)	1502	1803	2103	2404
$-X_a$ ($\lambda=0^\circ$), кг	47580	57097	66613	76129
$-X_a$ ($\lambda=75^\circ$), кг	12319	14783	17247	19711

Виконуючий механізм складається з рухомого тіла масою $m_r = 10$ г, який при зіткненні ракети з перешкодою може переміщатися по інерції, стискати пружину і приводить до дії запальний пристрій. При цьому стиснута пружина в крайньому положенні викликає опір величиною до $F_{np} = 160$ г, що відповідає поздовжньому перевантаженню $n_x = 16$.

Таке перевантаження буде мати і ракета. Таким чином, пусковий пристрій спрацює при досягненні ракетою негативного поздовжнього перевантаження $-n_x \geq 16$.

Реальне перевантаження, що діє на пристрій, можна перевіряти шляхом його скидання з деякої висоти і визначення величини за формулою $n_x = X_a/gm$.

Для цього може бути застосована спеціальна установка, схема якої наведена на рис. 1. Реальний ЗВМ необхідно закріпити в спеціальній капсулі циліндричної форми. Капсула може вільно переміщатися в направляючій трубі. Трубу з капсулою встановлюють на бетонну плиту. Капсула з ЗВМ (рис. 1) падає з висоти H_1 , ударяється об бетонну плиту і підстрибує до висоти H_2 за рахунок пружних деформацій як плити, так і самого пристрою.

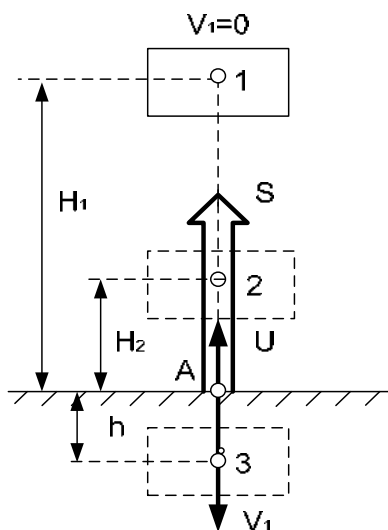


Рис. 1. Схема дії випробувального пристрою

В результаті вільного падіння швидкість центру мас пристрою в момент досягнення точки A буде рівною

$$V_1 = \sqrt{2gH_1}. \quad (4)$$

За інерцією центр мас підривного пристрою за рахунок деформації корпусу пристрою і опори переміщується від точки A до точки 3 на відстань h . У точці 3 сила стиску конструкції F найбільша і прагне повернути центр мас у початковий стан рівноваги (точка 1). При цьому сила пружних деформацій, що виштовхує капсулу, розганяє її від швидкості $u_3 = 0$ до u_A і далі по інерції до $-$ точки 2. Відстань між точками 2 і 1 залежить від залишкових деформацій системи, а висоту H_2 можна визначити за законом вільного руху (як при вільному падінні пристрою з точки 2 до плити).

$$u_A = \sqrt{2gH_2}. \quad (5)$$

Вплив залишкових деформацій системи оцінюється коефіцієнтом відновлення $k = H_2/H_1$, який буде завжди менше 1. При проведенні експерименту доцільно передбачити пристрій, який міг би фіксувати висоту H_2 при заданому значенні висоти H_1 .

Коефіцієнт k дозволяє визначити швидкість у точці A при зворотному русі:

$$u_A = -V_1 k. \quad (6)$$

Таким чином, сила пружних деформацій $F(t)$ на першому етапі прагне зупинити рух пристрою, а на другому $-$ діє у протилежному напрямку, тобто вона має вид імпульсу. Ударний імпульс цієї сили S можна отримати із теореми про зміну кількості руху:

$$m_{uA} - mV_1 = S. \quad (7)$$

У імпульсному представленні ударний імпульс має вигляд

$$S = \int_0^t F dt \quad (8)$$

З виразу (5) можна визначити середню силу при умові $F = F_{cp} = const$:

$$F_{cp} = \frac{S}{\tau} \quad (9)$$

де τ – час удару пристрою о плиту.

Зі статистики відомо, що при ударі невеликих металевих тіл о плити великої маси, час удару $\tau = 0,01 \dots 0,02$ с, при ударі сталевго шару об сталеву плиту $\tau = 0,0005$ с і т. д. Величина τ може бути визначена експериментально або приблизно розрахунковим шляхом.

Від сили можна перейти до середнього перевантаження

$$n_x = \frac{F_{cp}}{gm} = \frac{(u_A - V_1)}{g\tau} \quad (10)$$

Величину τ визначимо з глибини входу капсули в перешкоду. Для цього прийємо масу капсули разом з запальним пристроєм $m_k = 1$ кг, діаметр капсули 0,04 м, а відношення довжини її носової частини до діаметру такими ж як у НАР. Характеристики бетонної підставки матимуть наступні значення:

$$\begin{aligned} k_{II} &= 0,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2\text{с/кг}; \\ k_{gem} &= 1,262; \\ k_d &= 0,8389; \\ k_\lambda &= k_r = 1. \end{aligned}$$

Використовуючи представлені значення коефіцієнтів і співвідношення (1), отримаємо глибину входу центру мас НАР в перешкоду в залежності від висоти скидання:

$$h = 0,0209 \cdot (H_1)^{0,5}. \quad (11)$$

При невеликій масі пристрою висота його скидання повинна бути дуже великою, що значно ускладнює практичне використання приладу і веде до значної похибки вимірювання. Тому реальний ЗВМ доцільно закріпити в спеціальній капсулі, яка буде переміщуватися по направляючій трубі. Чим більше маса капсули, тим меншою буде потрібна висота скидання пристрою.

Установка повинна дозволити вимірювання висоти підйому пристрою H_2 (тобто фіксування пристрою в

кінці підйому) для визначення коефіцієнта k . В даних розрахунках прийнято $k = 0,85$.

Прийємо припущення про рівноприскорений закон руху в перешкоді (бетоні) з постійним середнім прискоренням:

$$j_{cp} = \frac{V_1^2}{2h} \quad (12)$$

Тоді час подолання перешкоди буде рівним

$$\tau = \frac{V_1}{j_{cp}} \quad (13)$$

Приведені формули дозволяють розрахувати середнє перевантаження, що діє на пристрій (НАР). Розрахунки по приведених формулах представлені в наступній таблиці.

У розрахунках прийнято коефіцієнт відновлення $k=0,85$, маса капсули 1 кг.

Із табл. 4 видно, що отримані в розрахунках значення перевантажень по абсолютній величині не більше тих, які закладено в конструкцію реального ЗВМ (16 од.), тобто спрацювання пристрою можливо тільки при тангенційному перевантаженні 16 од. і більше. Небезпека ненавмисного зриву ракети в умовах експлуатації практично малоімовірна, оскільки створення негативного повздовжнього перевантаження більше 16 од. фізично занадто складно.

Встановлене статичне обмеження спрацювання ЗВМ ($n_x = -16$ од.) необхідно перевірити шляхом більш точного зважування рухомого тіла (10 г) і величини сили стиску пружини (160 г).

Розрахунки показують, що при застосуванні ракети по наземних цілях під час її зустрічі з перешкодою пусковий пристрій зазнає великих тангенційних перевантажень (при зустрічі з піском природної вологості під кутом нахилу 75 град від вертикалі на швидкості 500 км/год $n_x = -378,9$ од, що більш ніж на порядок перевищує встановлену для спрацювання пускового пристрою величину $n_x = -16$ од. і гарантує надійний підрив ракети).

Перевірку встановленого статичного обмеження спрацювання ЗВМ ($n_x = -16$ од.) для забезпечення ненавмисного зриву НАР в умовах реальної експлуатації

Таблиця 4

Параметри руху при скиданні капсули з висоти H

Найменування параметру	Значення		
	1	2	3
Початкова висота скидання вантажу H_1 , м	1	2	3
Швидкість в кінці падіння вантажу V_1 , м/с	4,43	6,26	7,67
Висота підскоку вантажу H_2 , м	0,85	1,70	2,55
Швидкість в кінці підскоку u_2 , м/с	4,08	5,77	7,07
Глибина входу вантажу в перешкоду h , м	0,0209000	0,0295571	0,0361999
Ударний імпульс вантажу S , кгм/с	-0,35	-0,49	-0,60
Прискорення вантажу в перешкоді j_{cp} , м/с ²	188	265	325
Час подолання перешкоди τ , с	0,0149286	0,0149286	0,0149286
Середнє перевантаження в перешкоді n_x	-2,36	-3,34	-4,09
Середня сила подолання перешкоди F_{cp} , Н	-23	-33	-40

доцільно підтвердити шляхом скидання макету НАР з запальним пристроєм з висоти 3 м у відповідності із наведеною у статті методикою.

ВИСНОВКИ

Таким чином, у статті представлено моделювання процесу спрацювання запобіжно-виконуючого пристрою НАР класу “повітря-поверхня”.

Отримані розрахункові показники дають можливість оцінювати задані до ракети характеристики, зокрема щодо підриву бойової частини НАР на великих кутах зустрічі з поверхнею, а також забезпечення необхідного рівня безпеки при її експлуатації. Такий підхід надає можливість оцінювати неконтрольовані параметри під час натурних випробувань НАР, зокрема й вимоги щодо надійного підриву ракети на великих кутах до нормалі поверхні зустрічі.

Крім того, у статті запропоновано спосіб натурального відтворення процесу спрацювання запобіжно-виконуючого механізму та наведено опис і принципову схему випробувального пристрою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Миропольский Ф. П., Саркисян Р. С., Вишняков О. Л., Попов А. М. *Авиационные боеприпасы и их исследование*. – М.: Изд-во ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1996. 254 с.
2. Хижняк В. М., Хижняк В. В., Даценко А. В. *Комплекси авіаційного озброєння та їх бойове застосування: навчальний посіб.*; за ред. В. М. Хижняка. – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2008. 302 с.
3. Средства поражения и боеприпасы: учеб. / А. В. Бабкин и др.; под общ. ред. В. В. Селиванова. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. 984 с.
4. Силков В. И. *Динамика полета летательных аппаратов: конспект лекций*. К.: КМУГА, 1995. 424 с.

REFERENCES

1. Miropolsky, F. P., Sargsyan, R. S., Vishnyakov, O. L. and Popov, A. M. (1996), “Aviatsionnyye boyepripasy i ikh issledovaniye” [Aircraft ammunition and their research], Publ. VVIA n. a. N. E. Zhukovsky, M., 254 p.
2. Khyzhnyak, V. M., Khyzhnyak, V. V. and Datsenko, A. V. (2008), “Kompleksy aviatsynoho ozbroynnya ta yikh boyove zastosuvannya: navchalnyy posib.” [Complexes of aviation armament and their combat application: man.], ed. V. M. Khizhnyak. Kharkiv: HUPS named I. Kozhedub, 302 p.
3. Babkin, A. V., et al. (2008), “Sredstva porazheniya i boyepripasy: uchebnik” [Means of destruction and ammunition: textbook], under the general ed. V. V. Selivanova. Publ. of MSTU n.a. N. E. Bauman, M., 984 p.

4. Silkov, V. I. (1995), “Dinamika poleta letatel'nykh apparatov: konspekt lektsiy” [Flight dynamics of aircraft. Lecture notes], KMUGA, K., 424 p.

Відомості про авторів:

Зірка Андрій Леонідович

кандидат технічних наук
начальник науково-дослідного відділу розвитку радіотехнічних засобів науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Повітряних Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5304-2894>
e-mail: alzirka@ukr.net

Сілков Валерій Іванович

кандидат технічних наук
доцент
провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку авіаційно-космічних систем (комплексів) науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Повітряних Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-4446-212X>
e-mail: vsilkov1932@ukr.net

Жвтюк Олександр Анатолійович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу розвитку авіаційно-космічних систем (комплексів) науково-дослідного управління розвитку озброєння та військової техніки Повітряних Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6337-4750>
e-mail: feuermannn@ukr.net

Information about the authors:

Zirka Andrii

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

Silkov Valerii

PhD
Leading Researcher of Research Development Department of aviation-space systems (complexes) Research management of Armament and Military Equipment of the Air Force of Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4446-212X>
e-mail: vsilkov1932@ukr.net

Oleksandr Zhevtiuk

PhD

Senior Research

Chief of Research Development Department of aviation-space systems (complexes) Research management of Armament and Military Equipment of the Air Force of Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-6337-4750>

e-mail: feuermannn@ukr.net

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

<https://orcid.org/0000-0002-2430-8478>

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

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

Стаття надійшла до редколегії 01.06.2019 р.

УДК 519.67:006.954.3 (477)

DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3\(23\).84-98](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.3(23).84-98)

В. Є. СІРЕНКО, кандидат економічних наук,
<https://orcid.org/0000-0002-0857-993X>

Є. Я. ДЕМЧЕНКО, здобувач, керівник науково-дослідного підрозділу,
<https://orcid.org/0000-0002-8743-993X>
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

Деякі особливості хронологічних обчислень

Викладена суть проблеми перерахування календарних дат в часові інтервали між ними і навпаки, що виникає у процесі комп'ютерного оброблення результатів наукових досліджень, в яких задіяний часовий фактор та використовуються машинні методи обчислювальної математики.

Формалізовані основні закономірності григоріанського календаря. Сформульовані й доведені чотири теореми щодо вибору потрібного варіанту хронологічних обчислень. Запропоновані алгоритми вирішення дев'яти основних та двох допоміжних хронологічних завдань.

Ключові слова: хронологічні обчислення; григоріанський календар; комп'ютерні засоби; програмні продукти; машинні методи обчислювальної математики.

Изложена суть проблемы пересчёта календарных дат во временные интервалы между ними и наоборот, которая возникает в процессе компьютерной обработки результатов научных исследований, в которых задействован временной фактор и используется машинный метод вычислительной математики.

Формализованы основные закономерности григорианского календаря. Сформулированы и доказаны четыре теоремы, касающиеся выбора необходимого варианта хронологических вычислений. Предложены алгоритмы решения девяти основных и двух вспомогательных хронологических заданий.

Ключевые слова: хронологические вычисления; григорианский календарь; компьютерные средства; программные продукты; машинные методы вычислительной математики.

При комп'ютерному вирішенні цілого ряду наукових завдань, в яких присутній фактор часу і застосовуються чисельні математичні методи [2, 7] ми несподівано зіткнулись з суттєвою проблемою.

Навіть апробовані комп'ютерні засоби і відомі програмні продукти [6] починають в неприпустимій мірі викривляти хронологічну картину досліджуваних подій, якщо з'являється необхідність перерахування календарних дат в часові відрізки між ними і навпаки.

Дійсно, склалася така практика, що в офіційних документах (програми, контракти, договори, тощо), які формують вихідні дані для тих чи інших досліджень, як правило, використовуються календарні дати. У той же час алгоритми машинного оброблення результатів наукових експериментів і опрацювань, що побудовані на чисельних математичних методах [2, 7], оперують, в основному, часовими інтервалами між цими датами. Тобто постійно виникає потреба перетворення дат пізньої та ранньої подій у відповідний часовий період між ними і навпаки.

Скрупильозний аналіз комп'ютерних збоїв, які досить часто при цьому трапляються, привів до висновку, що їх причиною є недостатнє врахування у зазначених алгоритмах особливостей григоріанського літочислення [5, 8, 9].

До таких особливостей григоріанського календаря слід віднести однакову кількість місяців в календарному році, але різну кількість днів у високосних і невисокосних роках та різну кількість днів в різних місяцях [5, 8, 9].

Саме дані обставини зажадали додаткового вивчення існуючих закономірностей григоріанського літочислення та їх відповідної формалізації з метою удосконалення практики хронологічних обчислень.

Тут і далі використовуються наступні позначення основних хронологічних параметрів:

$D_1 D_2 \cdot M_1 M_2 \cdot G_1 G_2 G_3 G_4$ календарна дата, де:

D_1 – порядковий номер декади у місяці;

D_2 – порядковий номер дня у декаді;

$M_1 M_2$ – порядковий номер місяця у році;

G_1 – порядковий номер тисячоліття;

G_2 – порядковий номер століття у тисячолітті;

G_3 – порядковий номер десятиліття у столітті;

G_4 – порядковий номер року у десятилітті;

S – індекс ранньої події;

C – індекс пізньої події;

D – номер календарного дня у календарному місяці;

M – номер календарного місяця у календарному році;

G – номер календарного року;

ΔT_{G+M+D}^{C-S} – тривалість часового інтервалу між пізньою і ранньою подіями, що визначена в роках, місяцях та днях;

ΔT_{M+D}^{C-S} – тривалість часового інтервалу між пізньою і ранньою подіями, що визначена в місяцях та днях;

ΔT_D^{C-S} – тривалість часового інтервалу між пізньою і ранньою подіями, що визначена в днях;

- T_G^M – тривалість окремого року в місяцях; при $G_3 = 3G = 2030 + G_4$, де $G_4 = 0,1,2$. (27)
- T_G^D – тривалість окремого року у днях; Якщо $2030 \leq G \leq 2032$, то тоді: (28)
- T_M^D – тривалість окремого місяця у днях. $G_1 = 2, G_2 = 0, G_3 = 3, G_4 = G - 2030$.
- Мають місце наступні значення основних хронологічних параметрів та взаємозалежності між ними [5, 8, 9]:
- Якщо $2020 \leq G < 2030$, то тоді: (29)
- $D_1 = 0,1,2,3$, при цьому: $G_1 = 2, G_2 = 0, G_3 = 2, G_4 = G - 2020$.
- якщо $D_1 = 0$, то тоді $D_2 = 1,2,3,4,5,6,7,8,9$; (1) Якщо $2012 \leq G < 2020$, то тоді: (30)
- якщо $D_1 = 1,2$, то тоді $D_2 = 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9$; (2) $G_1 = 2, G_2 = 0, G_3 = 1, G_4 = G - 2010$
- якщо $D_1 = 3$, то тоді $D_2 = 0,1$. (3) Завжди: (31)
- Якщо $D_1 = 0$, то тоді $D = D_2$, де $G^C \geq G^S$; (5)
- $D_2 = 1,2,3,4,5,6,7,8,9$. (4) якщо $G^C = G^S$, то тоді календарні дати ранньої та пізньої подій знаходяться у межах одного календарного року; (6)
- Якщо $D_1 = 1$, то тоді $D = 10 + D_2$, де $D_2 = 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9$. (7) день дати ранньої події і день дати пізньої події входять в досліджуваний період; (32)
- Якщо $D_1 = 2$, то тоді $D = 20 + D_2$, де $D_2 = 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9$. (8) $\Delta T_{G+M+D}^{C-S} \geq 0$; (32)
- Якщо $D_1 = 3$, то тоді $D = 30 + D_2$, де $D_2 = 0,1$. (9) $\Delta T_{M+D}^{C-S} \geq 0$; (33)
- Якщо $30 \leq D \leq 31$, то тоді $D_1 = 3, D_2 = D - 30$. (10) $\Delta T_D^{C-S} \geq 0$; (34)
- Якщо $20 \leq D < 30$, то тоді $D_1 = 2, D_2 = D - 20$. (11) $T_G^M = 12$. (35)
- Якщо $10 \leq D < 20$, то тоді $D_1 = 1, D_2 = D - 10$. (12)
- Якщо $1 \leq D < 10$, то тоді $D_1 = 0, D_2 = D$. (13)
- $M_1 = 0,1$, при цьому: (14)
- якщо $M_1 = 0$, то тоді $M_2 = 1,2,3,4,5,6,7,8,9$; (15)
- якщо $M_1 = 1$, то тоді $M_2 = 0,1,2$; (16)
- Якщо $M_1 = 0$, то тоді $M = M_2$, де $M_2 = 1,2,3,4,5,6,7,8,9$. (17)
- Якщо $M_1 = 1$, то тоді $M = 10 + M_2$, де $M_2 = 0,1,2$. (18)
- Якщо $10 \leq M \leq 12$, то тоді $M_1 = 1, M_2 = M - 10$. (19)
- Якщо $1 \leq M < 10$, то тоді $M_1 = 0, M_2 = M$. (20)
- Якщо обмежити досліджуваний період 2012-2032 роками, то тоді:
- $G_1 = 2$; (21)
- $G_2 = 0$; (22)
- $G_3 = 1,2,3$; (23)
- $G_4 = 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9$. (24)
- Якщо $G_1 = 2, G_2 = 0$, то тоді:
- при $G_3 = 1G = 2010 + G_4$, де $G_4 = 2,3,4,5,6,7,8,9$; (25)
- при $G_3 = 2G = 2020 + G_4$ $G_3 = 2G = 2020 + G_4$, де $G_4 = 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9$; (26)
- Якщо $G/4 \in N$, де N – множина натуральних чисел, тобто у досліджуваному періоді (2012-2032 роки) $G = 2012, 2016, 2020, 2024, 2028, 2032$, то тоді $T_G^D = 366$ (так званий високосний рік). (36)
- При цьому для $M_1 = 0$ та $M_2 = 2$ або $M = 2 T_M^D = 29$. (37)
- Якщо $G/4 \notin N$, де N – множина натуральних чисел, тобто у досліджуваному періоді (2012-2032 роки) $G \neq 2012, 2016, 2020, 2024, 2028, 2032$, то тоді $T_G^D = 365$ (так званий невисокосний рік). (38)
- При цьому для $M_1 = 0$ та $M_2 = 2$ або $M = 2 T_M^D = 28$. (39)
- Якщо $M_1 = 0$, то тоді: для $M_2 = 1,3,5,7,8 T_M^D = 31$; (40)
- для $M_2 = 4,6,9 T_M^D = 30$. (41)
- Якщо $M_1 = 1$, то тоді: для $M_2 = 0,2 T_M^D = 31$; (42)
- для $M_2 = 1 T_M^D = 30$. (43)
- Якщо $M = 1, 3, 5, 7, 8, 10, 12$, то тоді $T_M^D = 31$; (44)
- Якщо $M = 4, 6, 9, 11$, то тоді $T_M^D = 30$. (45)
- В межах даної роботи практичний сенс мають наступні хронологічні завдання: розрахунок часового інтервалу між пізньою та ранньою подіями, коли відомі їх дати та $(D_1^S D_2^S \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$ та $D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$);

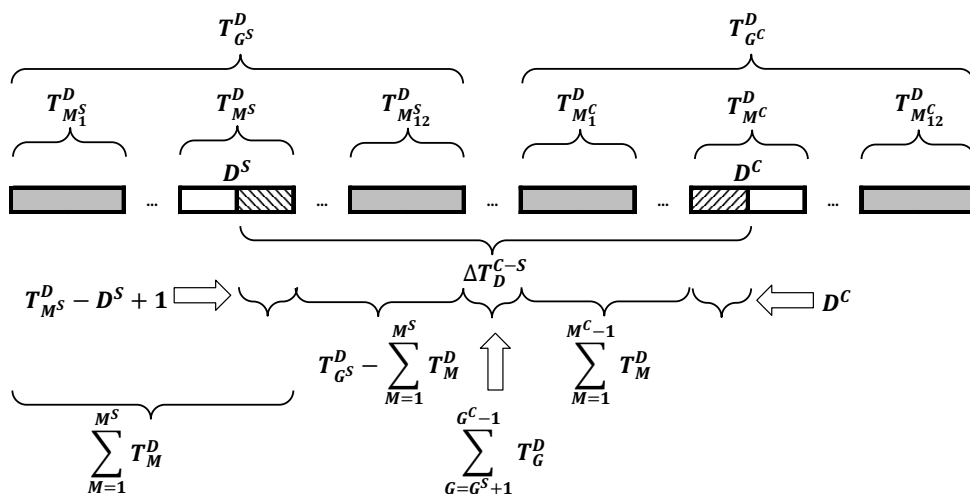


Рис. 1. Визначення тривалості часового інтервалу між пізньою і раною подіями в днях при $G^C > G^S$

розрахунок дати пізньої події ($D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$), коли відома дата ранньої події ($D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$), та часовий інтервал між ними;

розрахунок дати ранньої події ($D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$), коли відома дата пізньої події ($D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$) та часовий інтервал між ними.

При цьому часовий інтервал між пізньою та раною подіями може бути визначено або в днях (ΔT_D^{C-S}), або в місяцях і днях (ΔT_{M+D}^{C-S}), або в роках, місяцях і днях (ΔT_{G+M+D}^{C-S}). На підставі [1, 3, 4, 10] нижче наведені рішення зазначених хронологічних завдань.

Хронологічне завдання 1

Визначення тривалості часового інтервалу в днях (ΔT_D^{C-S}) між пізньою $D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$ і раною $D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$ подіями.

Трансформація календарних дат ранньої й пізньої подій $D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$ та $D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$ в їх відповідні номери календарних днів, місяців і років D^S, M^S, G^S та D^C, M^C, G^C здійснюється за допомогою системи рівнянь (5)-(8), (16)-(17) та (24)-(27).

Можливі два таких випадки.

Якщо $G^C > G^S$ (рис. 1), то тоді

$$\Delta T_D^{C-S} = D^C + (T_{M^S}^D - D^S + 1) + \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D + (T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D) + \sum_{G=G^S+1}^{G^C-1} T_G^D, \quad (46)$$

де: значення T_M^D та $T_{M^S}^D$ визначаються системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичних номерів календарних місяців M, M^S та M^C й приналежності G^S і G^C до високосних або невисокосних років; значення T_G^D та $T_{G^S}^D$ визначаються системою рівнянь (36), (38) в залежності від приналежності G, G^S і G^C до високосних або невисокосних років.

Якщо $G^C = G^S$ (рис. 2), то тоді

$$\Delta T_D^{C-S} = D^C + T_{M^S}^D - D^S + 1 + \sum_{M=M^S+1}^{M^C-1} T_M^D. \quad (47)$$

Оскільки $\sum_{M=M^S+1}^{M^C-1} T_M^D = \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D$, то тоді (48)

$$\Delta T_D^{C-S} = D^C + T_{M^S}^D - D^S + 1 + \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D, \quad (49)$$

де значення T_M^D та $T_{M^S}^D$ визначаються системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичних номерів календарних місяців M, M^S та M^C та приналежності G^S до високосних або невисокосних років.

Хронологічне завдання 2

Визначення тривалості часового інтервалу в місяцях та днях (ΔT_{M+D}^{C-S}) між пізньою $D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$ і раною $D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$ подіями.

Трансформація календарних дат ранньої й пізньої подій $D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$ та $D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$ в їх відповідні номери календарних днів, місяців і років D^S, M^S, G^S та D^C, M^C, G^C здійснюється за допомогою системи рівнянь (5)-(8), (16)-(17) та (24)-(27).

ΔT_{M+D}^{C-S} складається з певної кількості місяців M_{M+D}^{C-S} та днів D_{M+D}^{C-S} , де:

- M_{M+D}^{C-S} - цілочисельна кількість місяців в досліджуваному періоді;
- D_{M+D}^{C-S} - кількість днів в досліджуваному періоді крім днів, що увійшли у цілочисельну кількість місяців M_{M+D}^{C-S} ;

$$M_{M+D}^{C-S} \geq 0;$$

$$D_{M+D}^{C-S} \geq 0.$$

Якщо $M_{M+D}^{C-S} = 0$, то тоді хронологічне завдання 2 зводиться до хронологічного завдання 1.

Якщо $M_{M+D}^{C-S} > 0$, то тоді можливі два випадки.

Якщо $G^C > G^S$ (рис. 3), то тоді

$$M_{M+D}^{C-S} = (T_{G^S}^M - M^S) + (M^C - 1) + \sum_{G^S+1}^{G^C-1} T_G^M, \quad (50)$$

де значення T_G^M та $T_{G^S}^M$ визначаються рівнянням (35). Оскільки відповідно до рівняння (35) для будь-якого року $T_G^M = 12$, то тоді

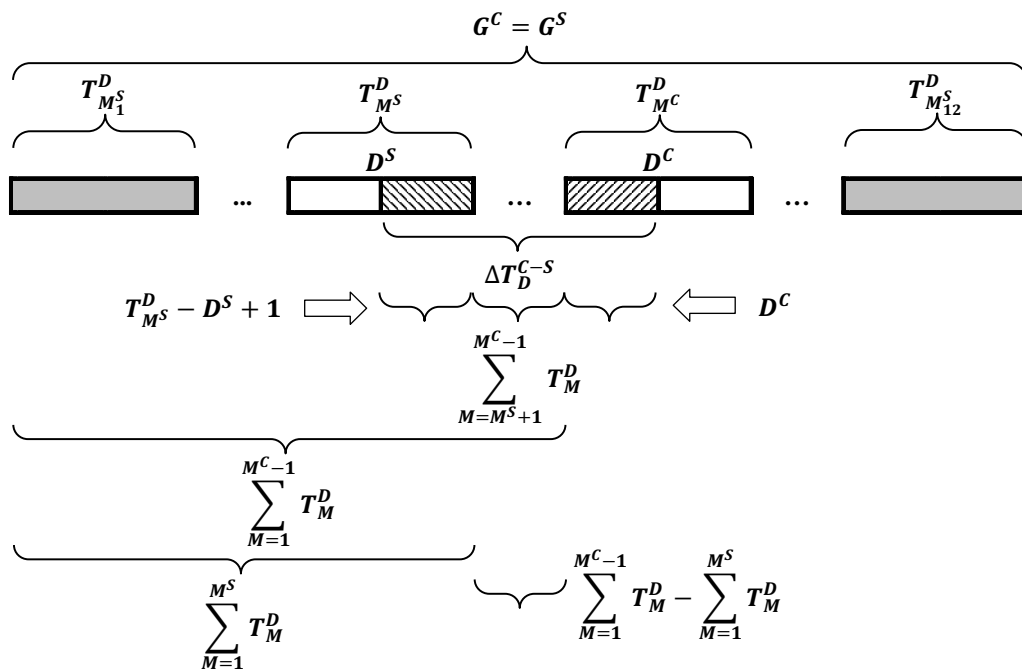


Рис. 2. Визначення тривалості часового інтервалу між пізньою і раною подіями в днях при $G^C = G^S$

$$M_{M+D}^{C-S} = 12 - M^S + M^C - 1 + 12(G^C - G^S - 1), \text{ тобто } (51)$$

$$M_{M+D}^{C-S} = M^C - M^S - 1 + 12(G^C - G^S). (52)$$

$$D_{M+D}^{C-S} = D^C + T_{M^S}^D - D^S + 1, (53)$$

де значення $T_{M^S}^D$ визначається системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичного номеру M^S та приналежності G^S до високосних або невисокосних років.

Якщо при цьому $D^C + T_{M^S}^D - D^S + 1 \geq T_{M^C}^D$, то тоді:

$$D_{M+D}^{C-S} = D^C + T_{M^S}^D - T_{M^C}^D - D^S + 1, (54)$$

де значення $T_{M^C}^D$ та $T_{M^S}^D$ визначаються системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичних номерів M^C та M^S і приналежності G^C та G^S до високосних або невисокосних років;

$$M_{M+D}^{C-S} \text{ приймає значення } M_{M+D}^{C-S} + 1. (55)$$

Якщо у разі виконання рівняння (54) також, одночасно, присутні такі умови:

- D^C є завершальним днем місяця M^C ;
- D^S є першим днем місяця M^S , тобто $D^S = 1$;
- $T_{M^C}^D = T_{M^S}^D$,

то тоді вираз $M_{M+D}^{C-S} + 1$ (55) приймає вигляд:

$$M_{M+D}^{C-S} + 2 (56),$$

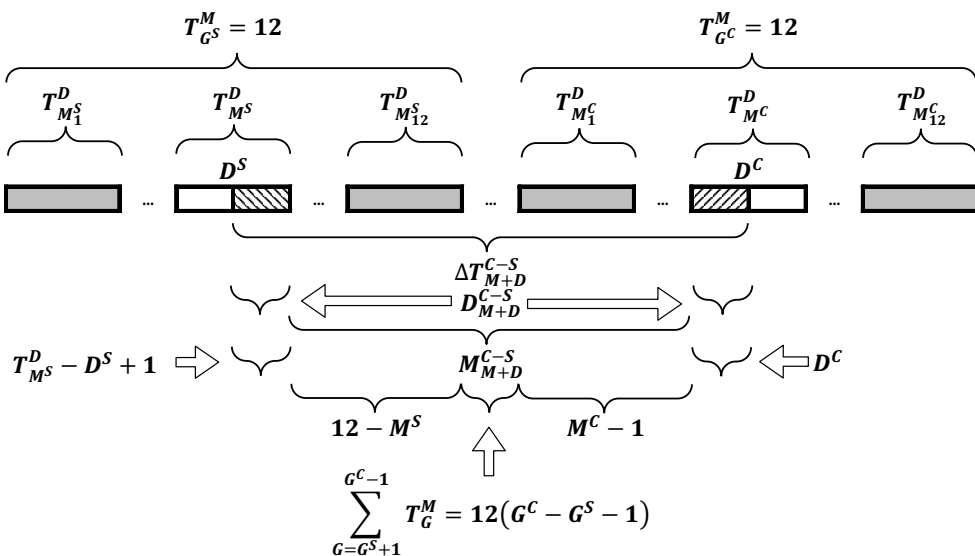


Рис. 3. Визначення тривалості часового інтервалу між пізньою і раною подіями в місяцях та днях при $G^C > G^S$

$$aD_{M+D}^{C-S} = 0. \tag{57}$$

Якщо $G^C = G^S$ (рис. 4), то тоді:

$$M_{M+D}^{C-S} = M^C - 1 - M^S, \text{ тобто } M_{M+D}^{C-S} = M^C - M^S - 1. \tag{58}$$

$$D_{M+D}^{C-S} = D^C + T_{M^S}^D - D^S + 1,$$

де значення $T_{M^S}^D$ визначається системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичного номеру M^S та приналежності G^S до високосних або невисокосних років.

Якщо при цьому $D^C + T_{M^S}^D - D^S + 1 \geq T_{M^C}^D$, то тоді розрахунки проводяться згідно формул (54)-(57).

Якщо одночасно $G^C = G^S$ і $M^C = M^S$, то тоді:

$$M_{M+D}^{C-S} = 0; \tag{59}$$

$$D_{M+D}^{C-S} = D^C - D^S + 1. \tag{60}$$

Хронологічне завдання 3

Визначення тривалості часового інтервалу в роках, місяцях та днях (ΔT_{G+M+D}^{C-S}) між пізньою і ранньою подіями:

$$D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C;$$

$$D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S.$$

Трансформація календарних дат ранньої й пізньої подій $D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$ та $D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$ в їх відповідні номери календарних днів, місяців і років D^S, M^S, G^S та D^C, M^C, G^C здійснюється за допомогою системи рівнянь (5)-(8), (16)-(17) та (24)-(27).

ΔT_{G+M+D}^{C-S} складається з певної кількості років G_{G+M+D}^{C-S} , місяців M_{G+M+D}^{C-S} та днів D_{G+M+D}^{C-S} , де:

G_{G+M+D}^{C-S} – цілочисельна кількість років в досліджуваному періоді;

M_{G+M+D}^{C-S} – цілочисельна кількість місяців в досліджуваному періоді, крім місяців, що увійшли у цілочисельну кількість років G_{G+M+D}^{C-S} ;

D_{G+M+D}^{C-S} – кількість днів в досліджуваному періоді, крім днів, що увійшли у цілочисельну кількість років G_{G+M+D}^{C-S} та цілочисельну кількість місяців M_{G+M+D}^{C-S} ; $G_{G+M+D}^{C-S} \geq 0$; $M_{G+M+D}^{C-S} \geq 0$ $D_{G+M+D}^{C-S} \geq 0$.

Якщо $G_{G+M+D}^{C-S} = 0$, то тоді хронологічне завдання 3 зводиться до хронологічного завдання 2.

Якщо одночасно $G_{G+M+D}^{C-S} = 0$ і $M_{G+M+D}^{C-S} = 0$, то тоді хронологічне завдання 3 зводиться до хронологічного завдання 1.

Якщо $G_{G+M+D}^{C-S} > 0$, то тоді $G^C > G^S$ (рис. 5). $\tag{61}$

$$G_{G+M+D}^{C-S} = G^C - G^S - 1. \tag{62}$$

$$M_{G+M+D}^{C-S} = 12 - M^S + M^C - 1, \tag{63}$$

$$\text{тобто } M_{G+M+D}^{C-S} = M^C - M^S + 11. \tag{64}$$

Якщо при цьому $M^C - M^S + 11 \geq T_G^M = 12$, тобто $M^C - M^S \geq 1$, то тоді:

$$M_{G+M+D}^{C-S} = M^C - M^S + 11 - T_G^M, \tag{65}$$

$$\text{тобто } M_{G+M+D}^{C-S} = M^C - M^S - 1; \tag{66}$$

$$G_{G+M+D}^{C-S} \text{ приймає значення } G_{G+M+D}^{C-S} + 1; \tag{67}$$

$$D_{G+M+D}^{C-S} = D^C + T_{M^S}^D - D^S + 1, \tag{68}$$

де значення $T_{M^S}^D$ визначається системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичного номеру M^S та приналежності G^S до високосних або невисокосних років.

Якщо при цьому $D^C + T_{M^S}^D - D^S + 1 \geq T_{M^C}^D$, то тоді розрахунки проводяться згідно формул (54)-(57).

Хронологічне завдання 4

Розрахунок дати пізньої події ($D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$), коли відома дата ранньої події ($D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$) та часовий інтервал між ними, який визначено в днях (ΔT_D^{C-S}).

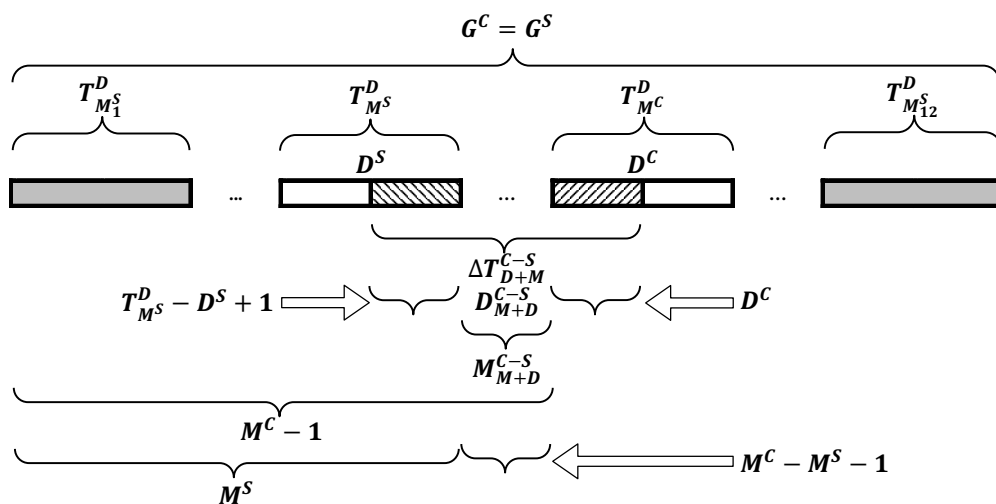


Рис. 4. Визначення тривалості часового інтервалу між пізньою і ранньою подіями в місяцях та днях при $G^C = G^S$

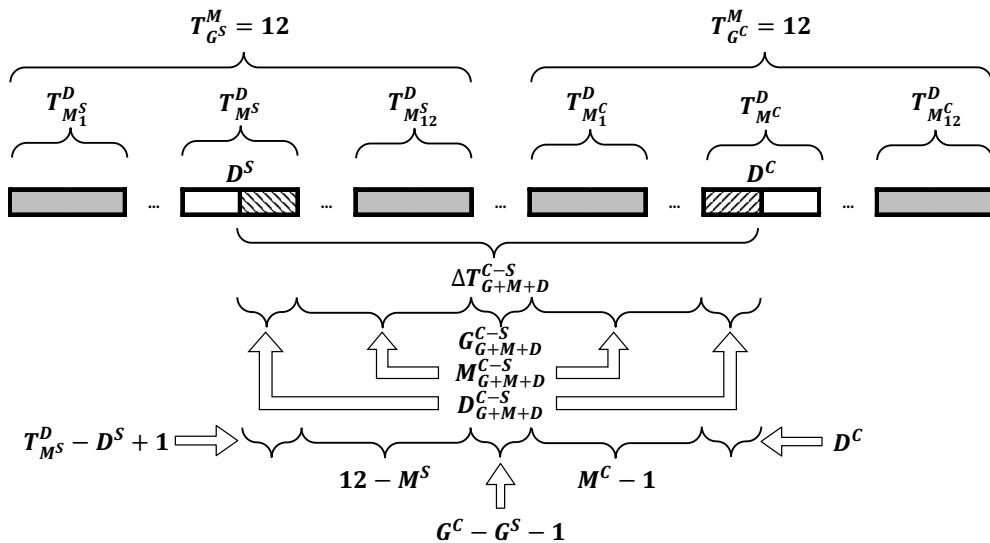


Рис. 5. Визначення тривалості часового інтервалу між пізньою і ранньою подіями в роках, місяцях та днях

Як свідчить вирішення хронологічних завдань 1-3, хронологічні закономірності між пізньою і ранньою подіями, у різних випадках визначаються неоднаковими математичними виразами, зміст яких залежить від співвідношення років зазначених подій:

або дані події мали місце протягом одного календарного року - рівняння (47)-(49), (58);

або вони відбулися у різні календарні роки - рівняння (46), (50)-(53), (61)-(63), (68).

І, якщо при вирішенні хронологічних завдань 1-3 це не створювало якихось ускладнень, бо дати ранньої й пізньої подій були наперед відомі, то при вирішенні завдань, коли задається дата тільки однієї події дана обставина має принципове значення.

Необхідність осмисленого вибору відповідного математичного апарату в таких випадках вимагає доказу деяких теорем.

Теорема 1

Якщо часовий інтервал між пізньою і ранньою подіями, розрахований в днях (ΔT_D), перевищує часовий відрізок від дати ранньої події й до кінця року, в якому вона має місце, то тоді рання і пізня подія відбудуться в різних роках.

І навпаки, якщо часовий інтервал між пізньою і ранньою подіями, розрахований в днях (ΔT_D), менше часового відрізка від дати ранньої події й до кінця року, в якому вона має місце, або дорівнює йому, то тоді рання і пізня подія відбудуться протягом одного календарного року.

Обов'язковою умовою знаходження пізньої події за межами року G^S є наступна нерівність (пунктирна лінія на рис. 6):

$$\sum_{M=1}^{M^S-1} T_M^D + D^S + \Delta T_D > T_{G^S}^D. \tag{68}$$

З урахуванням того, що

$$T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S-1} T_M^D - D^S = T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D + T_{M^S}^D - D^S + 1, \tag{69}$$

нерівність (68) можливо представити у наступному вигляді:

$$\Delta T_D > T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D + T_{M^S}^D - D^S + 1 \text{ (рис. 7)}. \tag{70}$$

В той же час протилежна умова має наступний вигляд (безперервна лінія на рис. 6):

$$\sum_{M=1}^{M^S-1} T_M^D + D^S + \Delta T_D \leq T_{G^S}^D, \tag{71}$$

тобто

$$\Delta T_D \leq T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D + T_{M^S}^D - D^S + 1 \text{ (рис. 7)}. \tag{72}$$

На рис. 7 пунктирною лінією позначена умова, коли рання і пізня події відбудуться в різних роках, безперервною лінією – коли обидві події відбудуться протягом одного календарного року.

Таким чином з урахуванням Теорема 1, якщо трансформувати календарну дату ранньої події $D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$ у відповідні номери календарних днів, місяців і років D^S, M^S, G^S за допомогою системи рівнянь (5)-(8), (16)-(17) та (24)-(27), маючи на увазі умову

$$\Delta T_D^{C-S} > (T_{M^S}^D - D^S + 1) + (T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D), \text{ тобто } G^C > G^S, \text{ то тоді:}$$

$$\Delta T_D^{C-S} = D^C + (T_{M^S}^D - D^S + 1) + \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D + (T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D) + \sum_{G=G^S+1}^{G^C-1} T_G^D, \tag{73}$$

Перетворимо рівняння (73) в наступний вигляд:

$$\Delta T_D^{C-S} - (T_{M^S}^D - D^S + 1) - (T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D) = D^C + \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D + \sum_{G=G^S+1}^{G^C-1} T_G^D, \tag{74}$$

де:

значення T_M^D та $T_{M^S}^D$ визначаються системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичних

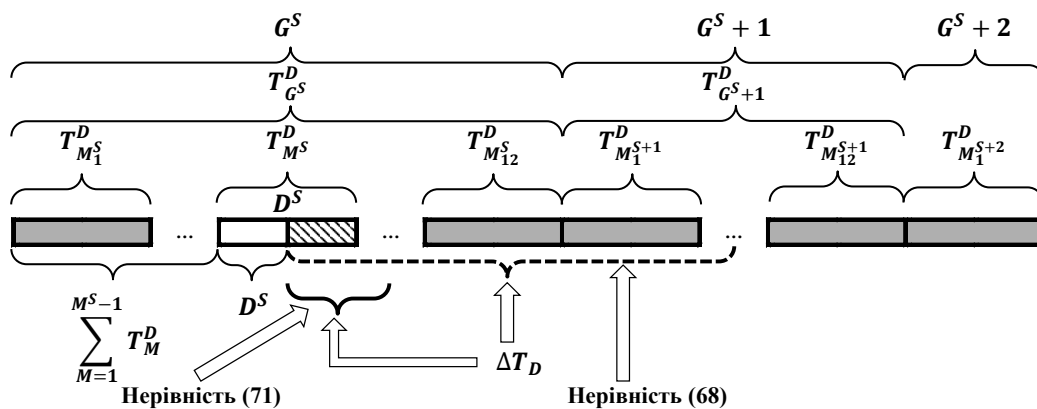


Рис. 6. Доказ Теореме 1

номерів M та M^S і приналежності G^S до високосних або невисокосних років;

значення $T_{G^S}^D$ визначається системою рівнянь (36), (38) в залежності від приналежності G^S до високосних або невисокосних років;

$$\sum_{G=G^S+1}^{G^C-1} T_G^D \rightarrow \max.$$

З рівняння (74) з урахуванням того, що його ліва частина повністю визначена, розраховуються величина

$$\sum_{G=G^S+1}^{G^C-1} T_G^D \text{ і значення } G^C.$$

Це дозволяє перетворити рівняння (74) в наступний вигляд:

$$\Delta T_D^{C-S} - (T_{M^S}^D - D^S + 1) - (T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D) - \sum_{G=G^S+1}^{G^C-1} T_G^D = D^C + \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D, \quad (75)$$

де:

значення T_G^D , $T_{G^S}^D$ та $T_{M^S}^D$ визначаються системою рівнянь (36), (38) в залежності від приналежності G , G^S та G^C до високосних або невисокосних років;

$$\sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D \rightarrow \max.$$

З рівняння (75) з урахуванням того, що його ліва частина також повністю визначена, розраховується величина

$$\sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D \text{ і значення } M^C.$$

В результаті:

$$D^C = \Delta T_D^{C-S} - (T_{M^S}^D - D^S + 1) - (T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D) - \sum_{G=G^S+1}^{G^C-1} T_G^D - \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D. \quad (76)$$

Для графічної ілюстрації вирішення цієї частини хронологічного завдання 4 можуть бути використані графічні побудови, що наведені на рис. 1.

З урахуванням Теореме 1

$$\text{якщо } \Delta T_D^{C-S} \leq (T_{M^S}^D - D^S + 1) + (T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D), \text{ тобто } G^C = G^S, \quad (77)$$

$$\text{то тоді } \Delta T_D^{C-S} = D^C + (T_{M^S}^D - D^S + 1) + \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D.$$

Приведемо рівняння (77) до наступного вигляду:

$$\Delta T_D^{C-S} - (T_{M^S}^D - D^S + 1) + \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D = D^C + \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D, \quad (78)$$

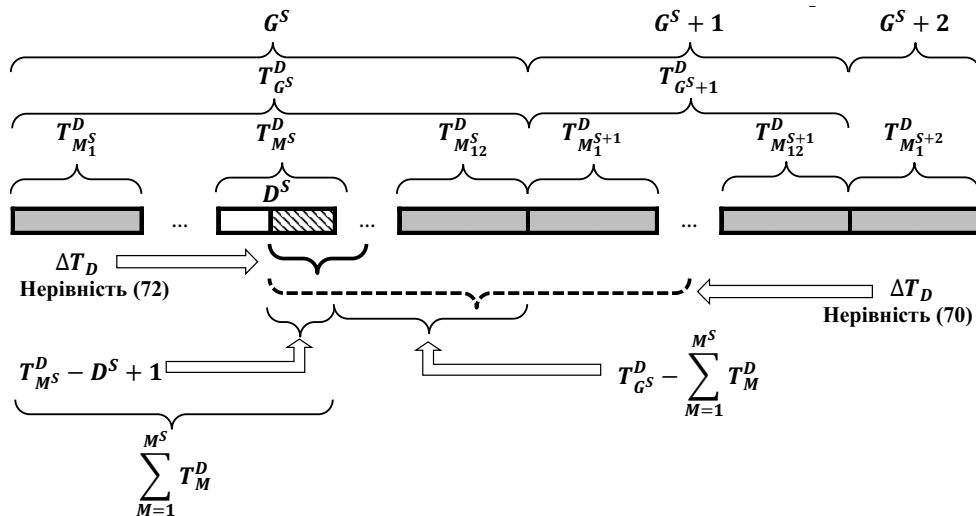


Рис. 7. Ілюстрація Теореме 1

де:

значення T_M^D та $T_{M^S}^D$ визначаються системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичних номерів M та M^S і приналежності G^S до високосних або невисокосних років;

$$\sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D \rightarrow \max.$$

З рівняння (78) з урахуванням того, що його ліва частина повністю визначена, розраховується величина

$$\sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D \text{ і значення } M^C.$$

$$\text{Тоді } D^C = \Delta T_D^{C-S} - (T_{M^S}^D - D^S + 1) + \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D - \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D. \quad (79)$$

Для графічної ілюстрації вирішення цієї частини хронологічного завдання 4 можуть бути використані графічні побудови, що наведені на рис. 2.

Трансформація розрахованих порядкових номерів дня, місяця та року пізньої події D^C, M^C, G^C у відповідну календарну дату $D_1^C D_2^C, M_1^C M_2^C, G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$ здійснюється за допомогою системи рівнянь та нерівностей (9)-(12), (18)-(19), (28)-(30).

Хронологічне завдання 5

Розрахунок дати пізньої події

($D_1^C D_2^C, M_1^C M_2^C, G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$), коли відома дата ранньої події ($D_1^S D_2^S, M_1^S M_2^S, G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$) та часовий інтервал між ними, який визначено в місяцях і днях (ΔT_{M+D}^{C-S}).

ΔT_{M+D}^{C-S} складається з певної кількості місяців M_{M+D}^{C-S} та днів D_{M+D}^{C-S} , де:

M_{M+D}^{C-S} – цілочисельна кількість місяців в досліджуваному періоді;
– кількість днів в досліджуваному періоді крім днів, що увійшли у цілочисельну кількість місяців M_{M+D}^{C-S} ;

$$M_{M+D}^{C-S} \geq 0;$$

$$D_{M+D}^{C-S} \geq 0$$

Якщо $M_{M+D}^{C-S} = 0$, то тоді хронологічне завдання 2 зводиться до хронологічного завдання 1.

Якщо $M_{M+D}^{C-S} > 0$, то тоді можливі два випадки:

коли $G^C = G^S$;

коли $G^C \neq G^S$, тобто $G^C > G^S$.

Трансформація календарної дати ранньої події $D_1^S D_2^S, M_1^S M_2^S, G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$ у відповідні номери календарних днів, місяців і років D^S, M^S, G^S здійснюється за допомогою системи рівнянь (5)-(8), (16)-(17) та (24)-(27).

Теорема 1 зберігає своє значення для вирішення хронологічного завдання 5, якщо в нерівностях (68), (70)-(72), (рис. 6 і 7) замість ΔT_D використати вираз $D_{M+D}^{C-S} + MD_{M+D}^{C-S}$, де:

MD_{M+D}^{C-S} – часовий інтервал M_{M+D}^{C-S} , який перераховано у дні.

Тобто:

якщо $D_{M+D}^{C-S} + MD_{M+D}^{C-S} > (T_{M^S}^D - D^S + 1) + (T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D)$, то тоді $G^C > G^S$;

якщо $D_{M+D}^{C-S} + MD_{M+D}^{C-S} \leq (T_{M^S}^D - D^S + 1) + (T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D)$, то тоді $G^C = G^S$.

Але, для перерахування у даному випадку тривалості M_{M+D}^{C-S} з місяців в дні необхідно доказати наступну теорему та вирішити допоміжне завдання 1.

Теорема 2

Якщо часовий інтервал між пізньою і ранньою подіями, заданий в місяцях (ΔT_M), перевищує часовий відрізок від кінця місяця ранньої події й до кінця року, в якому вона має місце, то тоді рання і пізня подія відбудуться в різних роках.

І навпаки, якщо часовий інтервал між пізньою і ранньою подіями, заданий в місяцях (ΔT_M), менше часового відрізка від кінця місяця ранньої події й до кінця року, в якому вона має місце, або дорівнює йому, то тоді рання і пізня подія відбудуться протягом одного календарного року.

Обов'язковою умовою для знаходження пізньої події за межами року G^S є наступна нерівність (рис. 8):

$$M^S + \Delta T_M > T_G^M = 12, \text{ тобто } \Delta T_M > 12 - M^S. \quad (80)$$

В той же час протилежна умова має наступний вигляд (рис. 8):

$$M^S + \Delta T_M \leq T_G^M = 12, \quad (82)$$

$$\text{тобто } \Delta T_M \leq 12 - M^S. \quad (83)$$

На рис. 8 пунктирною лінією позначена умова, коли рання і пізня події відбудуться в різних роках, безперервною лінією – коли обидві події відбудуться протягом одного календарного року.

Допоміжне завдання 1

З урахуванням Теорема 2,

якщо $M_{M+D}^{C-S} > 12 - M^S$, тобто $G^X > G^S$, то тоді (рис. 9):

$$M_{M+D}^{C-S} = 12 - M^S + 12(G^X - G^S - 1) + M^X = M^X - M^S + 12(G^X - G^S), \quad (84)$$

M^X, G^X – місяць і рік завершення часового інтервалу M_{M+D}^{C-S} , якщо він починався би з кінця місяця M^S року G^S .

Перетворимо рівняння (84) в наступний вигляд:

$$M_{M+D}^{C-S} + M^S = M^X + 12(G^X - G^S), \quad (85)$$

де $(G^X - G^S) \rightarrow \max$.

З рівняння (85), з урахуванням того, що його ліва частина повністю визначена, розраховується величина $12(G^X - G^S)$ та значення G^X .

$$\text{Тоді } M^X = M_{M+D}^{C-S} + M^S - 12(G^X - G^S). \quad (86)$$

Визначення M^X та G^X дозволяє розрахувати величину MD_{M+D}^{C-S} (рис. 9):

$$MD_{M+D}^{C-S} = T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D + \sum_{G^S+1}^{G^X-1} T_G^D + \sum_{M=1}^{M^X} T_M^D, \quad (87)$$

де:

значення T_M^D визначають системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичних номерів місяців

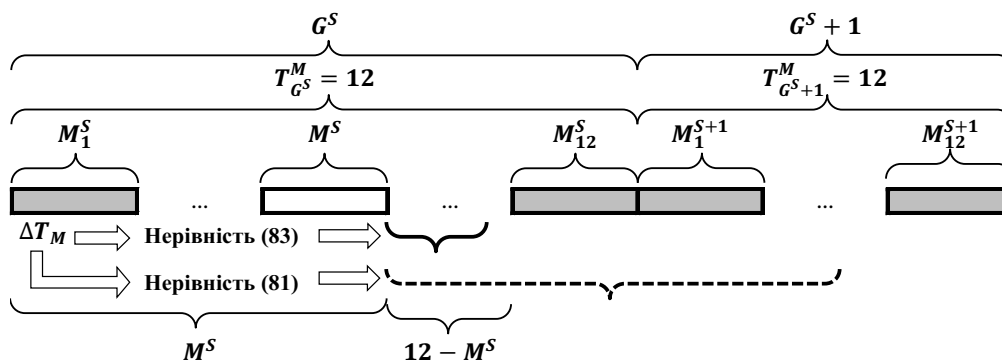


Рис. 8. Доказ Теорема 2

M, M^X та M^S і приналежності G^X та G^S до високосних або невисокосних років;

значення T_G^D та $T_{G^S}^D$ визначають системою рівнянь (36), (38) в залежності від приналежності G, G^S та G^X до високосних або невисокосних років.

З урахуванням теореми 2, якщо

$M_{M+D}^{C-S} \leq 12 - M^S$, тобто $G^X = G^S$, то тоді

$$M^X = M^S + M_{M+D}^{C-S}. \tag{88}$$

Знання G^S та визначення M^X дозволяє розрахувати величину MD_{M+D}^{C-S} (рис. 10):

$$MD_{M+D}^{C-S} = \sum_{M=1}^{M^X} T_M^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D, \tag{89}$$

де значення T_M^D визначаються системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичних номерів місяців M, M^X та M^S і приналежності G^S до високосних або невисокосних років.

Подальше вирішення хронологічного завдання 5 зводиться до вирішення хронологічного завдання 4 з урахуванням Теорема 1, якщо в рівняннях (73)-(79) замість ΔT_D^{C-S} використати вираз $D_{M+D}^{C-S} + MD_{M+D}^{C-S}$.

Визначені порядкові номери дня, місяця та року пізньої події D^C, M^C, G^C трансформуються у відповідну календарну дату $D_1^C D_2^C . M_1^C M_2^C . G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$ за допомогою системи рівнянь та нерівностей (9)-(12), (18)-(19), (28)-(30).

Хронологічне завдання 6

Розрахунок дати пізньої події $(D_1^C D_2^C . M_1^C M_2^C . G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C)$, коли відома дата ранньої події $(D_1^S D_2^S . M_1^S M_2^S . G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S)$ та часовий інтервал між ними, який визначено в роках, місяцях і днях (ΔT_{G+M+D}^{C-S}) .

ΔT_{G+M+D}^{C-S} складається з певної кількості років G_{G+M+D}^{C-S} , місяців M_{G+M+D}^{C-S} та днів D_{G+M+D}^{C-S} , де:

G_{G+M+D}^{C-S} – цілочисельна кількість років в досліджуваному періоді;

M_{G+M+D}^{C-S} – цілочисельна кількість місяців в досліджуваному періоді, крім місяців, що увійшли у цілочисельну кількість років G_{G+M+D}^{C-S} ;

D_{G+M+D}^{C-S} – кількість днів в досліджуваному періоді, крім днів, що увійшли у цілочисельну кількість років G_{G+M+D}^{C-S} та цілочисельну кількість місяців M_{G+M+D}^{C-S} ;

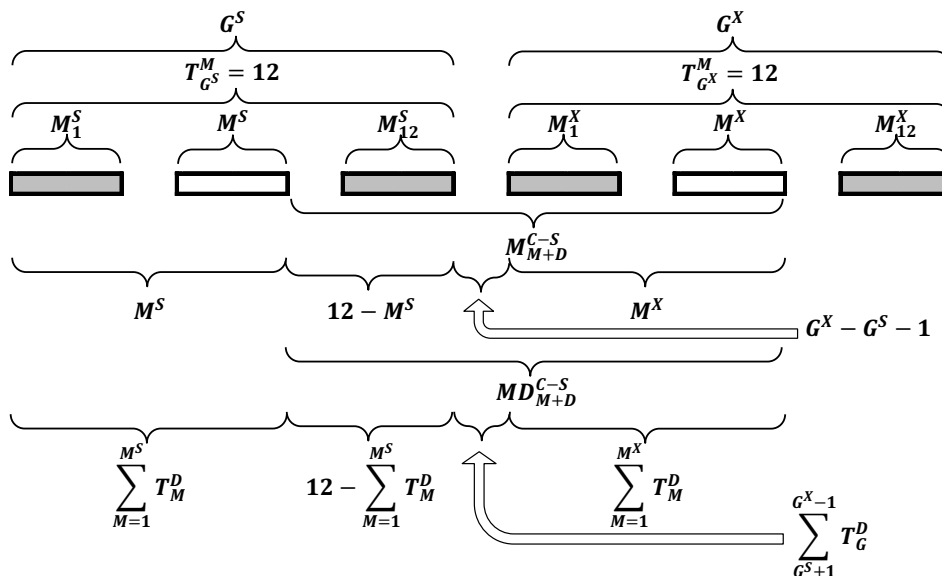


Рис. 9. Перерахування часового інтервалу, визначеного в місяцях, в дні, якщо пізня та рання події відбулися у різні роки

$$G_{G+M+D}^{C-S} \geq 0;$$

$$M_{G+M+D}^{C-S} \geq 0;$$

$$D_{G+M+D}^{C-S} \geq 0$$

Якщо $G_{G+M+D}^{C-S} = 0$, то тоді хронологічне завдання 6 зводиться до хронологічного завдання 5.

Якщо одночасно $G_{G+M+D}^{C-S} = 0$ і $M_{G+M+D}^{C-S} = 0$, то тоді хронологічне завдання 6 зводиться до хронологічного завдання 4.

Якщо $G_{G+M+D}^{C-S} > 0$, то тоді $G^C > G^S$.

Теореми 1 і 2 не потрібні для вирішення хронологічного завдання 6, бо наперед відомо, що $G^C > G^S$.

З урахуванням рівняння (35) очевидно, що величина G_{G+M+D}^{C-S} , яка перерахована в місяці, буде складати $12G_{G+M+D}^{C-S}$.

Тоді, якщо в рівняннях (85)-(87) використати замість M_{M+D}^{C-S} вираз $M_{G+M+D}^{C-S} + 12G_{G+M+D}^{C-S}$, а замість MD_{G+M+D}^{C-S} вираз $MD_{G+M+D}^{C-S} + GD_{G+M+D}^{C-S}$, то можливо перерахувати часовий інтервал, який складається з G_{G+M+D}^{C-S} років і M_{G+M+D}^{C-S} місяців, в дні, де:

$MD_{G+M+D}^{C-S} + GD_{G+M+D}^{C-S}$ – часовий інтервал, що був заданий в роках G_{G+M+D}^{C-S} і місяцях M_{G+M+D}^{C-S} , але вже перерахований в дні.

Подальше вирішення хронологічного завдання 6 зводиться до вирішення хронологічного завдання 4, якщо в рівняннях (73)-(76) замість ΔT_D^{C-S} використати вираз $D_{G+M+D}^{C-S} + MD_{G+M+D}^{C-S} + GD_{G+M+D}^{C-S}$.

Визначені порядкові номери дня, місяця та року пізньої події D^C, M^C, G^C трансформуються у відповідну календарну дату $D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$ за допомогою системи рівнянь та нерівностей (9)-(12), (18)-(19), (28)-(30).

Хронологічне завдання 7

Розрахунок дати ранньої події ($D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$), коли відома дата пізньої події ($D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$) та часовий інтервал між ними, який визначено в днях (ΔT_D^{C-S}).

Теорема 3

Якщо часовий інтервал між пізньою і ранньою подіями, розрахований в днях (ΔT_D), перевищує часовий відрізок між датою пізньої події й початком року, в якому вона має місце, то тоді рання і пізня подія відбудуться в різних роках.

І навпаки, якщо часовий інтервал між пізньою і ранньою подіями, розрахований в днях (ΔT_D), менше часового відрізка між датою пізньої події й початком року, в якому вона має місце, або дорівнює йому, то тоді рання і пізня подія відбудуться протягом одного календарного року.

Обов'язковою умовою для знаходження ранньої події за межами року G^C є наступна нерівність (рис. 11):

$$\Delta T_D > D^C + \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D. \tag{90}$$

В той же час протилежна умова має наступний вигляд (рис. 2, 3, 11):

$$\Delta T_D \leq D^C + \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D. \tag{91}$$

На рис. 11 пунктирною лінією позначена умова, коли рання і пізня події відбудуться в різних роках, безперервною лінією – коли обидві події відбудуться протягом одного календарного року.

Таким чином, з урахуванням Теореми 3, якщо трансформувати календарну дату пізньої події $D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$ у відповідні номери календарних днів, місяців і років D^C, M^C, G^C за

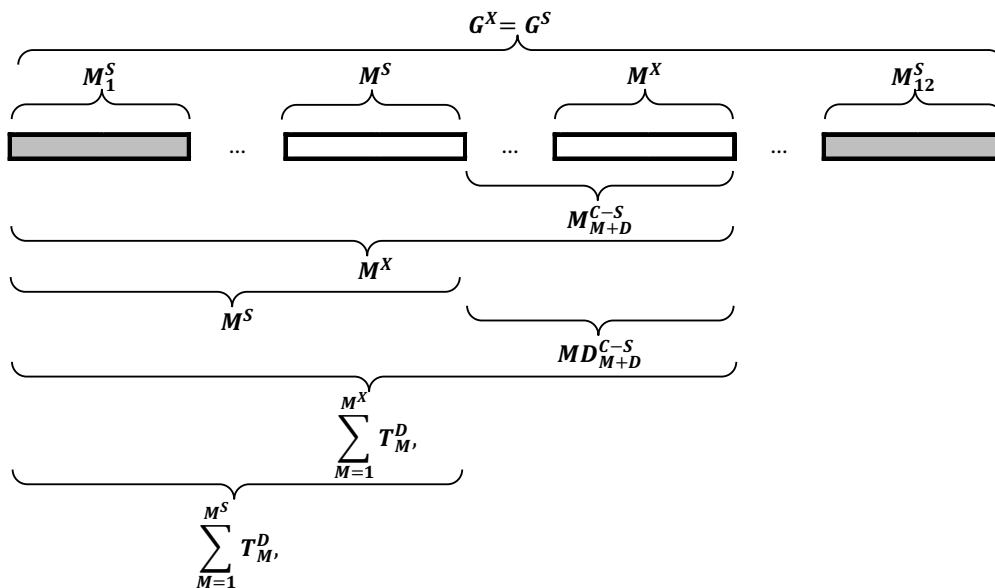


Рис.10. Перерахування часового інтервалу, визначеного в місяцях, в дні, якщо пізня та рання події відбулися протягом одного року

допомогою системи рівнянь (5)-(8), (16)-(17) та (24)-(27), маючи на увазі умову

$$\Delta T_D^{C-S} > D^C + \sum_{M=1}^{M^{C-1}} T_M^D, \text{ тобто } G^C > G^S, \text{ то тоді:}$$

$$\Delta T_D^{C-S} = D^C + (T_{M^S}^D - D^S + 1) + \sum_{M=1}^{M^{C-1}} T_M^D + (T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D) + \sum_{G=G^S+1}^{G^C-1} T_G^D, \quad (92)$$

Перетворимо рівняння (92) в наступний вигляд:

$$\Delta T_D^{C-S} - D^C - \sum_{M=1}^{M^{C-1}} T_M^D - 1 = (T_{M^S}^D - D^S) + (T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D) + \sum_{G=G^S+1}^{G^C-1} T_G^D, \quad (93)$$

де:

значення T_M^D визначаються системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичних номерів M та M^C і приналежності G^C до високосних або невисокосних років;

$$\sum_{G=G^S+1}^{G^C-1} T_G^D \rightarrow \max.$$

З рівняння (93) з урахуванням того, що його ліва частина повністю визначена, розраховуються величина

$$\sum_{G=G^S+1}^{G^C-1} T_G^D \text{ і значення } G^S.$$

Це дозволяє перетворити рівняння (93) в наступний вигляд:

$$T_{G^S}^D + \sum_{G=G^S+1}^{G^C-1} T_G^D + \sum_{M=1}^{M^{C-1}} T_M^D + D^C + 1 - \Delta T_D^{C-S} = D^S - T_{M^S}^D + \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D, \quad (94)$$

де:

значення T_M^D визначаються системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичних номерів M та M^C і приналежності G^C до високосних або невисокосних років;

значення T_G^D та $T_{G^S}^D$ визначаються системою рівнянь (36), (38) в залежності від приналежності G, G^S та G^C до високосних або невисокосних років;

$$\sum_{M=1}^{M^S} T_M^D \rightarrow \max.$$

З рівняння (94) з урахуванням того, що його ліва частина також повністю визначена, розраховується величина

$$\sum_{M=1}^{M^S} T_M^D \text{ і значенням } M^S.$$

В результаті:

$$D^S = D^C + 1 + T_{M^S}^D + \sum_{M=1}^{M^{C-1}} T_M^D + T_{G^S}^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D + \sum_{G=G^S+1}^{G^C-1} T_G^D - \Delta T_D^{C-S}. \quad (95)$$

Для графічної ілюстрації вирішення цієї частини хронологічного завдання 7 можуть бути використані графічні побудови, що наведені на рис. 1.

З урахуванням Теорема 3, якщо $\Delta T_D^{C-S} \leq D^C + \sum_{M=1}^{M^{C-1}} T_M^D$, тобто $G^C = G^S$, то тоді

$$\Delta T_D^{C-S} = D^C + (T_{M^S}^D - D^S + 1) + \sum_{M=1}^{M^{C-1}} T_M^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D. \quad (96)$$

Перетворимо рівняння (96) в наступний вигляд:

$$D^C + \sum_{M=1}^{M^{C-1}} T_M^D + 1 - \Delta T_D^{C-S} = D^S - T_{M^S}^D + \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D, \quad (97)$$

де:

значення T_M^D визначають системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичних номерів місяців

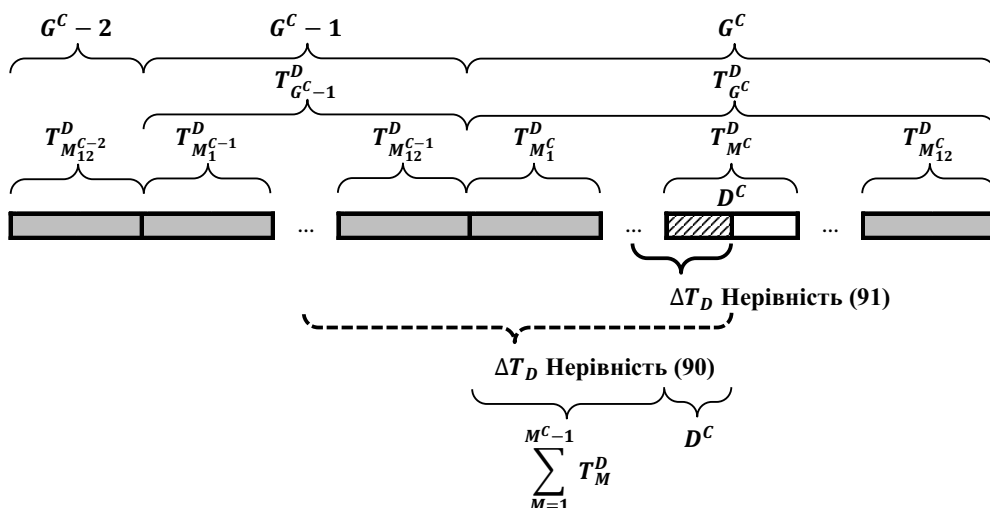


Рис. 11. Доказ Теорема 3

M та M^C і приналежності G^C до високосних або невисокосних років;

$$\sum_{M=1}^{M^S} T_M^D \rightarrow \max.$$

З рівняння (97) з урахуванням того, що його ліва частина повністю визначена, розраховується величина

$$\sum_{M=1}^{M^S} T_M^D \text{ і значення } M^S.$$

$$\text{Тоді } D^S = D^C + 1 + T_{M^S}^D + \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D - \sum_{M=1}^{M^S} T_M^D - \Delta T_D^{C-S}. \quad (98)$$

Для графічної ілюстрації вирішення цієї частини хронологічного завдання 7 можуть бути використані графічні побудови, що наведені на рис. 2.

Трансформація розрахованих порядкових номерів дня, місяця та року ранньої події D^S, M^S, G^S у відповідну календарну дату $D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$ здійснюється за допомогою системи рівнянь та нерівностей (9)-(12), (18)-(19), (28)-(30).

Хронологічне завдання 8

Розрахунок дати ранньої події ($D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$), коли відома дата пізньої події ($D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$) та часовий інтервал між ними, який визначено в місяцях та днях (ΔT_{M+D}^{C-S}).

ΔT_{M+D}^{C-S} складається з певної кількості місяців M_{M+D}^{C-S} та днів D_{M+D}^{C-S} , де:

M_{M+D}^{C-S} – цілочисельна кількість місяців в досліджуваному періоді;

D_{M+D}^{C-S} – кількість днів в досліджуваному періоді, крім днів, що увійшли у цілочисельну кількість місяців M_{M+D}^{C-S} ;

$$M_{M+D}^{C-S} \geq 0;$$

$$D_{M+D}^{C-S} \geq 0.$$

Якщо $M_{M+D}^{C-S} = 0$, то тоді хронологічне завдання 8 зводиться до хронологічного завдання 7.

Якщо $M_{M+D}^{C-S} > 0$, то тоді можливі два випадки:

коли $G^C = G^S$;

коли $G^C \neq G^S$, тобто $G^C > G^S$.

Трансформація календарної дати пізньої події $D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$ у відповідні номери календарних днів, місяців і років D^C, M^C, G^C здійснюється за допомогою системи рівнянь (5)-(8), (16)-(17) та (24)-(27).

Теорема 3 зберігає своє значення для вирішення хронологічного завдання 8, якщо в нерівностях (90)-(91), (рис. 11) замість ΔT_D використати вираз $D_{M+D}^{C-S} + MD_{M+D}^{C-S}$, де:

MD_{M+D}^{C-S} – часовий інтервал M_{M+D}^{C-S} , який перераховано у дні.

Тобто:

$$\text{якщо } D_{M+D}^{C-S} + MD_{M+D}^{C-S} > D^C + \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D, \text{ то тоді } G^C > G^S;$$

$$\text{якщо } D_{M+D}^{C-S} + MD_{M+D}^{C-S} \leq D^C + \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D, \text{ то тоді } G^C = G^S.$$

Але, для перерахування у даному випадку тривалості M_{M+D}^{C-S} з місяців в дні необхідно доказати наступну теорему та вирішити допоміжне завдання 2.

Теорема 4

Якщо часовий інтервал між пізньою і ранньою подіями, заданий в місяцях (ΔT_M), перевищує часовий відрізок між початком місяця пізньої події й початком року, в якому вона має місце, то тоді рання і пізня подія відбудуться в різних роках.

І навпаки, якщо часовий інтервал між пізньою і ранньою подіями, заданий в місяцях (ΔT_M), менше часового відрізка між початком місяця пізньої події й початком року, в якому вона має місце, або дорівнює йому, то тоді рання і пізня подія відбудуться протягом одного календарного року.

Обов'язковою умовою для відбуття ранньої події за межами року G^C є наступна нерівність (рис. 12):

$$\Delta T_M > M^C - 1. \quad (99)$$

В то же час протилежна умова має наступний вигляд (рис. 12):

$$\Delta T_M \leq M^C - 1. \quad (100)$$

На рис. 12 пунктирною лінією позначена умова, коли рання і пізня події відбудуться в різних роках, безперервною лінією – коли обидві події відбудуться протягом одного календарного року.

Допоміжне завдання 2

З урахуванням Теорема 4:

якщо $M_{M+D}^{C-S} > M^C - 1$, тобто $G^X < G^C$, то тоді (рис. 13)

$$M_{M+D}^{C-S} = 12 - M^X + 1 + 12(G^C - G^X - 1) + M^C - 1, \quad (101)$$

$$\text{тобто } M_{M+D}^{C-S} = M^C - M^X + 12(G^C - G^X), \quad (102)$$

Перетворимо рівняння (102) в наступний вигляд:

$$M_{M+D}^{C-S} - M^C = 12(G^C - G^X) - M^X, \quad (103)$$

де $(G^C - G^X) \rightarrow \max$.

З рівняння (103), з урахуванням того, що його ліва частина повністю визначена, розраховується величина $12(G^C - G^X)$ та значення G^X .

$$\text{Тоді } M^X = M^C - M_{M+D}^{C-S} + 12(G^C - G^X). \quad (104)$$

Визначення M^X та G^X дозволяє розрахувати величину MD_{M+D}^{C-S} (рис. 13):

$$MD_{M+D}^{C-S} = T_{G^X}^D - \sum_{M=1}^{M^X-1} T_M^D + \sum_{G^X+1}^{G^C-1} T_G^D + \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D \quad (105)$$

де:

значення T_M^D визначають системою рівнянь (37), (39), (44)-(45) в залежності від фактичних номерів місяців M, M^X та M^S і приналежності G^X та G^S до високосних або невисокосних років;

значення T_G^D та $T_{G^S}^D$ визначають системою рівнянь (36), (38) в залежності від приналежності G, G^S та G^X до високосних або невисокосних років.

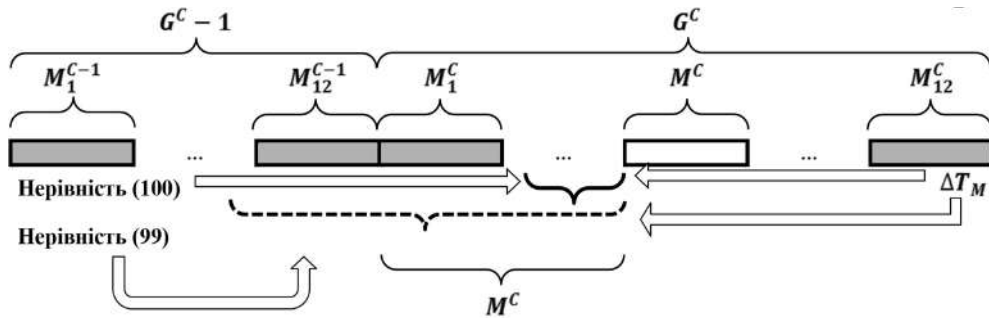


Рис. 12. Доказ Теорема 4

З урахуванням Теорема 4 якщо $M^C - 1 \geq M_{M+D}^{C-S}$, тобто $G^X = G^C$, то тоді (рис. 14):

$$M_{M+D}^{C-S} = M^C - 1 - (M^X - 1) = M^C - M^X \quad (106)$$

$$M^X = M^C - M_{M+D}^{C-S} \quad (107)$$

Знання G^C та визначення M^X дозволяє розрахувати величину MD_{M+D}^{C-S} (рис. 14):

$$MD_{M+D}^{C-S} = \sum_{M=1}^{M^C-1} T_M^D - \sum_{M=1}^{M^X-1} T_M^D \quad (108)$$

Подальше вирішення хронологічного завдання 8 зводиться до вирішення хронологічного завдання 7 з урахуванням Теорема 3, якщо в рівняннях (92)-(98) замість ΔT_D^{C-S} використати вираз $D_{M+D}^{C-S} + MD_{M+D}^{C-S}$.

Трансформація розрахованих порядкових номерів дня, місяця та року ранньої події D^S, M^S, G^S у відповідну календарну дату $D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$ здійснюється за допомогою системи рівнянь та нерівностей (9)-(12), (18)-(19), (28)-(30).

Хронологічне завдання 9

Розрахунок дати ранньої події ($D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$), коли відома дата пізньої події ($D_1^C D_2^C \cdot M_1^C M_2^C \cdot G_1^C G_2^C G_3^C G_4^C$) та часовий інтервал між ними, який визначено в роках, місяцях та днях (ΔT_{G+M+D}^{C-S}).

ΔT_{G+M+D}^{C-S} складається з певної кількості років G_{G+M+D}^{C-S} , місяців M_{G+M+D}^{C-S} та днів D_{G+M+D}^{C-S}

де:

G_{G+M+D}^{C-S} – цілочисельна кількість років в досліджуваному періоді;

M_{G+M+D}^{C-S} – цілочисельна кількість місяців в досліджуваному періоді, крім місяців, що увійшли у цілочисельну кількість років G_{G+M+D}^{C-S} ;

D_{G+M+D}^{C-S} – кількість днів в досліджуваному періоді, крім днів, що увійшли у цілочисельну кількість років G_{G+M+D}^{C-S} та цілочисельну кількість місяців M_{G+M+D}^{C-S} ;

$$G_{G+M+D}^{C-S} \geq 0;$$

$$M_{G+M+D}^{C-S} \geq 0;$$

$$D_{G+M+D}^{C-S} \geq 0.$$

Якщо $G_{G+M+D}^{C-S} = 0$, то тоді хронологічне завдання 9 зводиться до хронологічного завдання 8.

Якщо одночасно $G_{G+M+D}^{C-S} = 0$ і $M_{G+M+D}^{C-S} = 0$, то тоді хронологічне завдання 9 зводиться до хронологічного завдання 7.

Якщо $G_{G+M+D}^{C-S} > 0$, то тоді $G^C > G^S$.

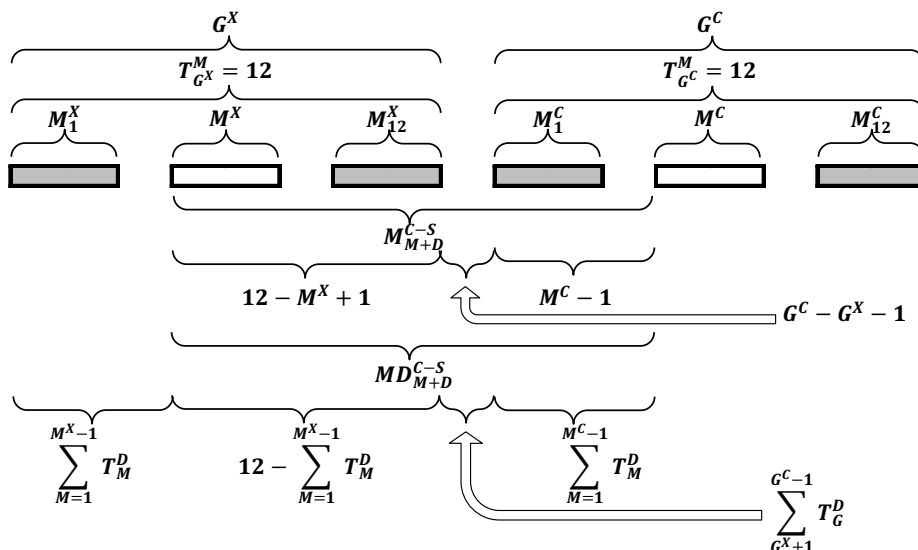


Рис. 13. Перерахування часового інтервалу, визначеного в місяцях, в дні, якщо пізня та рання події відбулися у різні роки

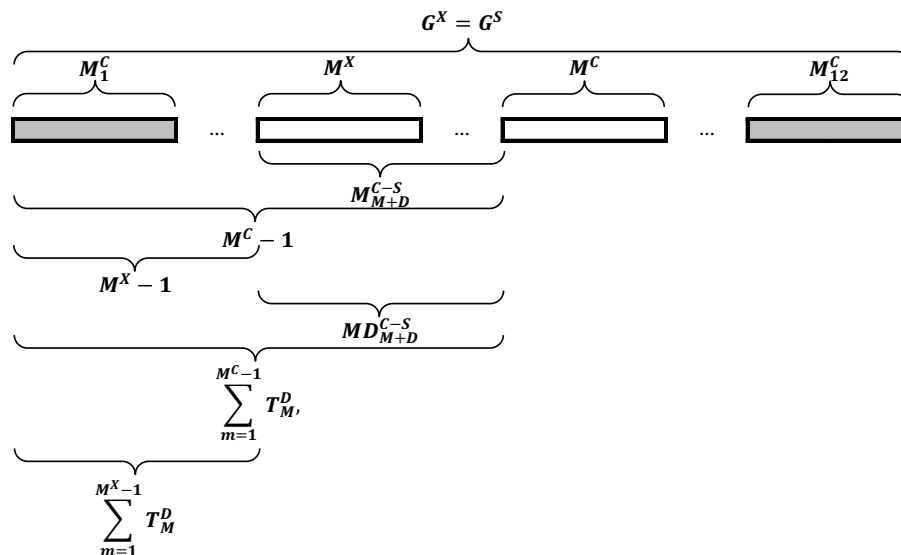


Рис. 14. Перерахування часового інтервалу, визначеного в місяцях, в дні, якщо пізня та рання події відбулися протягом одного року

Теорема 3 і 4 не потрібні для вирішення хронологічного завдання 9, бо наперед відомо, що $G^C > G^S$.

З урахуванням рівняння (35) очевидно, що величина G_{G+M+D}^{C-S} , яка перерахована в місяці, буде складати $12G_{G+M+D}^{C-S}$.

Тоді, якщо в рівняннях (101)-(105) використати замість M_{M+D}^{C-S} вираз $M_{G+M+D}^{C-S} + 12G_{G+M+D}^{C-S}$, а замість MD_{M+D}^{C-S} вираз $MD_{G+M+D}^{C-S} + GD_{G+M+D}^{C-S}$, то можливо перерахувати часовий інтервал, який складається з G_{G+M+D}^{C-S} років і M_{G+M+D}^{C-S} місяців, в дні, де:

$MD_{G+M+D}^{C-S} + GD_{G+M+D}^{C-S}$ – часовий інтервал, що був заданий в роках G_{G+M+D}^{C-S} і місяцях M_{G+M+D}^{C-S} , але вже перерахований в дні.

Подальше вирішення хронологічного завдання 9 зводиться до вирішення хронологічного завдання 7, якщо в рівняннях (92)-(95) замість ΔT_D^{C-S} використати вираз $D_{G+M+D}^{C-S} + MD_{G+M+D}^{C-S} + GD_{G+M+D}^{C-S}$.

Трансформація розрахованих порядкових номерів дня, місяця та року ранньої події D^S, M^S, G^S у відповідну календарну дату $D_1^S D_2^S \cdot M_1^S M_2^S \cdot G_1^S G_2^S G_3^S G_4^S$ здійснюється за допомогою системи рівнянь та нерівностей (9)-(12), (18)-(19), (28)-(30).

Таким чином, обираючи один із запропонованих алгоритмів хронологічних завдань 1-9, можна без особливих складнощів перераховувати календарні дати пізньої та ранньої подій в часові інтервали між ними і навпаки.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Бугров Я. С., Никольский С. М. Высшая математика в 3 т. М. : Дрофа, 2004. Т. 1. 288 с., Т. 2. 512 с., Т. 3. 512 с.
2. Демидович Б. П., Марон И. А. Основы вычислительной математики. Изд. 6-е, стер. М. : Лань, 2007. 664 с.

3. Дубовик В. П., Юрик І. І. Вища математика. 4-те вид. Київ: Ігнатекс-Україна, 2013. 648 с.
4. Ильин В. А., Садовничий В. А., Сендов Б. Х. Мат. анализ в 2 ч.; под ред. А.Н. Тихонова. МГУ им. М. В. Ломоносова. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Проспект: Велби, 2006. Ч. 1. 660 с., Ч. 2. 353 с.
5. Климишин И. А. Календарь и хронология. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Наука : Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. 320 с.
6. Кудрявцев Е. М. Mathcard 11: полное руководство по русской версии. М. : ДМК Пресс, 2005. 592 с.
7. Марчук Г. И. Методы вычислительной математики. М. : Наука : Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 608 с.
8. Селешников С. И. История календаря и хронология; под ред. П. Г. Куликовского. М. : Наука : Гл. ред. физ.-мат. лит., 1970. 225 с.
9. Хренов Л. С., Голуб И. Я. Время и календарь. М. : Наука, 1989. 128 с.
10. Шкіль М. І. Математичний аналіз у 2 ч. 3-те вид., перероб. і доп. Київ : Вища Школа, 2005. Ч. 1. 447 с., Ч. 2. 510 с.

REFERENCES

1. Bugrov, Ya. S. and Nikolskiy, S. M. "Vysshaya matematika v 3 t." [Higher Mathematics in 3 vol.], Drofa, M., 2004. Vol. 1. 288 p., Vol. 2. 512 p., Vol. 3. 512 p.
2. Demidovich, B. P. and Maron, I. A. "Osnovy vychislitel'noy matematiki" [Basics of computational mathematics], 6th ed., Lan, M., 2007. 664 p.
3. Dubovyk, V. P. and Yuryk, I. I. "Vyshcha matematyka" [Higher Mathematics], 4th ed., Ignatex-Ukraine, K., 2013. 648 p.
4. Ilyin, V. A., Sadovnichy, V. A. and Sendov, B. Kh. "Matematicheskii analiz v 2 ch." [Mathematical analysis in 2 pt.], by ed. A.N. Tikhonov; Moscow State Univ. n. a. M. V. Lomonosov, 3rd ed., reclaiming and add. Prospect: Welby, M., 2006. Pt. 1. 660 p., Pt. 2. 353 p.
5. Klimishin, I. A. "Kalendar' i khronologiya" [Calendar and chronology], 2nd ed., reclaiming and add. Science:

- Main ed. of the physical and mathematical literature, M., 1985. 320 p.
6. Kudryavtsev, E. M. "Mathcard 11: polnoye rukovodstvo po russkoy versii" [Mathcard 11: the complete guide to the Russian version], DMK Press, M., 2005. 592 p.
 7. Marchuk, G. I. "Metody vychislitel'noy matematiki" [Methods of computational mathematics], Nauka : Main ed. of the physical and mathematical literature, M., 1989. 608 p.
 8. Seleshnikov, S. I. "Istoriya kalendarya i khronologiya" [Calendar history and chronology], Science: Main ed. of the physical and mathematical literature, M., 1970. 225 p.
 9. Khrenov, L. S. and Golub, I. Ya. "Vremya i kalendar'" [Time and calendar], Science, M., 1989. 128 p.
 10. Shkil, M. I. Matematychnyy analiz u 2 ch. [Mathematical analysis in 2 pt.], 3rd ed., reclaiming and add., Higher School, K., 2005. Pt. 1. 447 p., Pt. 2. 510 p.

Відомості про авторів:**Сіренко Володимир Євгенійович**

кандидат економічних наук
 провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу проблем розвитку оборонних технологій науково-дослідного управління воєнно-технічної політики Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-0857-993X>
 e-mail: vysirenko@ukr.net

Демченко Євген Якович

начальник науково-дослідного відділу науково-методичного забезпечення розроблення і реалізації програм розвитку озброєння та військової техніки та державного оборонного замовлення науково-дослідного управління воєнно-технічної політики Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8743-993X>
 e-mail: 19ydemchenko@gmail.com

Information about the authors:**Volodymyr Sirenko**

PhD in Economic
 leading Researcher of the Research Department for Development Issues of Defense Technologies for Scientific and Research Management of Military-Technical Policy Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv
<https://orcid.org/0000-0002-0857-993X>
 e-mail: vysirenko@ukr.net

Yevgen Demchenko

head of the research department of the scientific and methodological support for the development and implementation of programs for the development of weapons and military equipment and the state defense order of the research management of military-technical policy Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv
<https://orcid.org/0000-0002-8743-923X>
 e-mail: 19ydemchenko@gmail.com

Стаття надійшла до редколегії 16.07.2019 р.

Рецензент М. І. Луханін, доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України у галузі науки і техніки (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ.)
<https://orcid.org/0000-0002-1919-8526>

Рецензент В. В. Зубарєв, доктор технічних наук, професор, Заслужений працівник промисловості України, лауреат Державної премії України у галузі науки і техніки (Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ.)
<https://orcid.org/0000-0002-4998-726X>

УДК 623.746-519

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3\(23\).99-109](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3(23).99-109)

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

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

М. В. ЗІРКА, науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0003-2915-3011>

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

Н. П. КАДЕТ, старший викладач

<https://orcid.org/0000-0003-2954-6325>

(Національний авіаційний університет, м. Київ)

Н. М. ФРЕГАН, старший викладач

В. І. КОЦЮРУБА, доктор технічних наук,

доцент, професор

<https://orcid.org/0000-0001-6565-9576>

(Національний університет оборони України ім. І. Черняхівського, м. Київ)

Методика нечіткого оцінювання для систем підтримки прийняття проектних рішень на етапах створення зразків озброєння та військової техніки

У статті приведено розроблену методику нечіткого оцінювання для систем підтримки прийняття рішень в процесі створення зразків озброєння та військової техніки. Практична цінність методики полягає в тому, що на її основі було проведено розробку програмних засобів підтримки вибору рішень. Для досягнення зазначеної мети були використані основні положення методів штучного інтелекту, складних технічних систем, нечіткої логіки та багатопараметричної та багатокритеріальної оптимізації.

Ключові слова: інформаційно-аналітична система, трансдисциплінарні онтології, штучний інтелект, нечітке оцінювання, математичні моделі, нечітка логіка.

В статье приведена разработанная методика нечеткого оценивания для систем поддержки принятия решений в процессе создания образцов вооружения и военной техники. Практическая ценность методики состоит в том, что на ее основе было проведено разработку программных средств поддержки выбора решений. Для достижения поставленной цели были использованы основные положения методов искусственного интеллекта, сложных технических систем, нечеткой логики и многопараметрической и многокритериальной оптимизации.

Ключевые слова: информационно-аналитическая система, трансдисциплинарные онтологии, искусственный интеллект, нечеткое оценивание, математические модели, нечеткая логика.

ВСТУП

Аналіз ефективності функціонування системи розроблення та постановки на виробництво озброєння та військової техніки (ОВТ) свідчить про необхідність підвищення рівня автоматизації процесів прийняття рішень під час управління проектами зі створення зразків ОВТ.

Тому найважливішим науковим завданням є створення інформаційно-аналітичної системи (ІАС) з реалізацією функцій систем підтримки прийняття рішень (СППР), в якій буде забезпечено адаптацію проектних рішень до умов зовнішнього і внутрішнього середовищ, що знаходяться в процесі динамічної трансформації і вирішені завдання автоматизації аналітичної обробки даних.

Зазначену ІАС пропонується створювати на основі використання онтологічних засад опрацювання різномірної інформації у вигляді інноваційного комплексу мережевих програмно-інформаційних та методичних засобів інтегрованого використання розподілених інформаційних ресурсів та корпоративних систем знань, які мають значну кількість міждисциплінарних відношень [1-4].

Основою для створення такої системи є забезпечення підтримки прийняття багатокритеріальних рішень за допомогою відповідної СППР, а також вирішення когнітивних метазадач при обробці текстових документів, баз даних та знань: структуризація, аналіз, синтез та вибір, зокрема:

структуризація масивів вхідної інформації;

обробка отриманої структурованої інформації, що включає в себе аналіз і вибір;

синтез на основі вхідної інформації і результатів її обробки вихідних документів.

Реалізація зазначеного завдання потребує підвищення ефективності відповідних методів, інформаційних засобів і технологій, а також заходів і процедур, які впливають на якість підготовки вихідних даних, отримання та обробки нової інформації і аналізу даних, розробки рекомендацій, необхідних для своєчасного прийняття обґрунтованих рішень у процесі створення зразків ОВТ.

У даному контексті важливого значення набуває розробка методів багатокритеріального оцінювання складних об'єктів і альтернатив рішень. Розвитку теорії і методів багатокритеріальних систем підтримки вибору рішень присвячені роботи таких авторів, як О.І. Ларічев [1, 2], А.Н. Катула [3], А.Б. Петровський [4, 5], Н.А. Северцев [3], Е.А. Трахтенгерц [6], А.І. Орлов [7], Є.С. Вентцель [8], R.L. Keeney, H. Raiffa [9], В. Roy [10], T.L. Saaty, K.P. Kearns [11, 12] та інші.

Необхідність врахування невизначеності при вирішенні задач багатокритеріального оцінювання і підтримки вибору альтернатив є обґрунтуванням використання методів і моделей теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Даному напрямку створення методів і моделей підтримки вибору рішень присвячені роботи таких дослідників, як А.Е. Алтунін [13], І.З. Батиршін [14], Л.С. Берштейн [15], А.Н. Борисов [16, 17], С.Я. Коровін [15], О.А. Крумберг [17],

А.Н. Меліхов [15], Д.А. Поспелов [18], М.В. Семухін [13], В.Б. Сілов [16], R. Bellman [19, 20], E. Mamdani [21], M. Sugeno [22], D. Dubuis, H. Prade [23], J.C. Bezdek, J.L. Castro, A. Kaufmann [24], H. Larsen, T. Takagi [25], T. Terano, Y. Tsukamoto, R. Yager [26], L.A. Zadeh [27-29] та інші.

Спільними обмеженнями існуючих методів багатокритеріального нечіткого оцінювання альтернатив є: складність формування багаторівневої структури оцінювання; відсутність врахування сумісності нерівномірно значних показників; відсутність можливості спільного виконання прямої і зворотної задач оцінювання за підтримки вибору найкращих рішень.

Для створення програмних засобів підтримки вибору рішень необхідно створення методів нечіткого оцінювання [30 – 33], що повинні задовольняти наступному комплексу вимог: можливість формування узагальненого показника оцінки та вибору рішень на основі зміни наборів часткових показників з урахуванням складної багаторівневої структури оцінювання; можливість агрегування показників (як кількісних, так і якісних) оцінки та вибору рішень, що розрізняються по вимірвальним шкалам, діапазонами значень; врахування сумісності і різної значимості часткових показників в узагальненій оцінці рішень; врахування різних стратегій оцінювання рішень; гнучке налаштування (адаптація) оціночних моделей при додаванні або виключенні показників і зміні їх параметрів (сумісності та значущості показників); забезпечення можливості реалізації в рамках єдиної моделі: по перше, прямого завдання оцінювання (згортки) узагальненого показника на основі часткових показників; по-друге, зворотної задачі оцінювання (розгортки) часткових показників при заданому значенні узагальненого показника; по-третє, спільного виконання прямої і зворотної задач; оцінювання за підтримки вибору найкращих рішень.

Метою цієї роботи є розробка методики нечіткого оцінювання для вирішення наступних завдань:

- оцінки альтернатив рішень;
- ранжування і порівняльної оцінки множини рішень;
- обґрунтування стратегій оцінювань обраних рішень;
- визначення значень (діапазонів значень) часткових показників рішень за заданим значенням (діапазонами значень) узагальненого показника;

- пошуку рішень (значень або діапазонів значень) часткових показників, що забезпечують необхідні значення або діапазони значень узагальненого показника (з фіксацією і без фіксації значень або діапазонів значень підмножини часткових показників).

Для розробки методики нечіткого оцінювання в СППР необхідно провести формалізацію процесу нечіткого оцінювання. Зазначене можливо провести за допомогою розробки моделі нечіткого оцінювання.

У загальному вигляді задача побудови нечітких оціночних моделей для підтримки вибору рішень ставиться таким чином. Нехай є безліч показників, значення яких відображають результати вимірювання/оцінки відповідних властивостей безлічі складних об'єктів або альтернатив рішень.

Потрібно побудувати нечітку оціночну модель з урахуванням багаторівневої структури оцінювання, різної значимості показників, а також нечітких відносин сумісності між показниками на кожному рівні ієрархії моделі.

Вся безліч показників розбивається за рівнями ієрархії. На кожному рівні ієрархії показники утворюють підмножини, кожна з яких відповідає показнику суміжного з ним більш високого рівня ієрархії. На кожному рівні ієрархії, починаючи з другого, можуть існувати показники, що не утворюють підмножин на більш низькому рівні (“листя”). На першому рівні ієрархії знаходиться підмножина з одного (узагальненого) показника.

Кожному показнику приписується вага. Показники, що належать одній підмножині, утворюють нечітке відношення сумісності.

Зазначена нечітка оціночна модель у формалізованому вигляді може бути представлена таким чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} P^{(j)} = \{P_1^{(j)}, \dots, P_q^{(j)}, \dots, P_Q^{(j)}\}, j = 1, \dots, J; q = 1, \dots, Q; \\ P_q^{(j)} = \{p_{q,1}^{(j)}, \dots, p_{q,i}^{(j)}, \dots, p_{q,n_q}^{(j)}\}, i = 1, \dots, n_q; \\ p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow P_s^{(j+1)} = \{p_{s,1}^{(j+1)}, \dots, p_{s,m}^{(j+1)}, p_{s,n}^{(j+1)}\}, j = 1, \dots, J-1; s = 1, \dots, S; \\ m = 1, \dots, n_s; \\ p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow w_{q,i}^{(j)}, j = 1, \dots, J; \\ \tilde{R}_q^{(j)} = \left\{ \left((p_{q,k}^{(j)} / p_{q,l}^{(j)}) / c_{q,l}^{(j)} \right), j = 1, \dots, J; k, l \in \{1, \dots, n_q\} \right\}; \end{array} \right.$$

де J – число рівнів ієрархії моделі; Q – число підмножин показників на j -му рівні ієрархії; S – число підмножин показників на $(j+1)$ рівні ієрархії; n_q – число показників з підмножини $P_q^{(j)}$ j -го рівня ієрархії; n_s – число показників з підмножини $P_s^{(j+1)}$ $(j+1)$ рівня ієрархії віднесеного з i -тим показником $p_{q,i}^{(j)}$ з підмножини $P_q^{(j)}$ j -го рівня ієрархії; $w_{q,i}^{(j)}$ – вага показника $p_{q,i}^{(j)}$; $\tilde{R}_q^{(j)}$ – нечітке відношення сумісності між показниками підмножини $p_{q,k}^{(j)}$ та $p_{q,l}^{(j)}$ з підмножини $P_q^{(j)}$.

На рис. 1 показаний фрагмент нечіткої оціночної моделі запропонованого типу. Зазначена нечітка оціночна модель дозволяє врахувати всі сформовані вимоги, що пред'являються до тих умов оцінки та вибору рішень і характеризуються такими властивостями: має гнучку ієрархічну структуру показників, що дозволяє звести завдання багатокритеріального оцінювання альтернатив до одного критерію або використовувати для вибору вектор показників; забезпечує можливість нечіткого представлення показників і відношень сумісності між ними, які можуть реалізувати різноманітний характер взаємозалежностей; дозволяють реалізувати методи прямого і зворотного нечіткого оцінювання; враховують різну значимість окремих показників за рахунок використання ваги показника; містять необхідний набір засобів формалізації для забезпечення програмної реалізації.

Методика нечіткого оцінювання для СППР рішень складається з наступних основних етапів.

Етап 1. Побудова нечіткої оціночної моделі.

Етап 2. Визначення ступенів сумісності показників, що агрегуються.

Етап 3. Обґрунтування набору операцій згорток для агрегування показників.

Етап 4. Співставлення ступенів сумісності показників, що агрегуються, з операціями їх згортки.

Етап 5. Завдання стратегії оцінювання.

Етап 6. Розбиття нечіткого відношення сумісності на класи сумісності і вибір відповідних їм операцій згортки.

Етап 7. Модифікація нечіткого відношення сумісності.

Етап 8. Формування структури згортки показників нечіткої оціночної моделі.

Етап 9. Завдання зважених значень показників і нечітке оцінювання альтернатив.

Розглянемо детальніше етапи запропонованої методики нечіткого оцінювання.

Етап 1. Побудова нечіткої оціночної моделі

Для побудови нечіткої оціночної моделі пропонується наступний спосіб, що включає в себе:

по-перше, створення ієрархічної структури показників оцінки;

по-друге, визначення ваги показників на кожному рівні ієрархії моделі;

по-третє, задання нечітких відносин сумісності між показниками на кожному рівні ієрархії моделі.

Для створення ієрархічної структури показників оцінки необхідно вирішити наступні завдання:

показники кожного рівня ієрархії групуються за підмножинами:

$P^{(j)} = \{P_1^{(j)}, \dots, P_q^{(j)}, \dots, P_Q^{(j)}\}, j = 1, \dots, J; q = 1, \dots, Q,$ (1)
де $P_q^{(j)}$ – q -та підмножина показників на j -му рівні ієрархії моделі; Q – число підмножин показників на j -му рівні ієрархії;

для кожного показника $p_{q,i}^{(j)}$ на j -му рівні ієрархії моделі встановлюється відповідність з підмножиною показників $P_s^{(j+1)}$ ($j+1$)-го рівня

$$p_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow P_s^{(j+1)} = \{p_{s,1}^{(j+1)}, \dots, p_{s,m}^{(j+1)}, \dots, p_{s,n}^{(j+1)}\},$$

$$j = 1, \dots, J-1; s = 1, \dots, S; q = 1, \dots, Q; m = 1, \dots, n_s,$$
 (2),

де J – число рівнів ієрархії моделі; Q – число підмножин показників на j -му рівні ієрархії; S – кількість підмножин показників на ($j+1$)-му рівні ієрархії; n_q – число показників з підмножини $P_q^{(j)}$ j -го рівня ієрархії; n_s – число показників із підмножини $P_s^{(j+1)}$ ($j+1$)-го рівня ієрархії, співвіднесеного з i -тим показником $p_{q,i}^{(j)}$ з підмножини $P_q^{(j)}$ j -го рівня ієрархії моделі; $p_{q,i}^{(j)}$ – i -тий показник з підмножини $P_q^{(j)}$ j -го рівня ієрархії моделі.

Для створення ієрархічної структури показників можуть бути використані відомі підходи і методи аналізу складних систем, включаючи методи експертного оцінювання.

Варто відзначити, що відомі підходи також можуть бути використані і для визначення значущості (ваги) усіх показників на кожному рівні ієрархії моделі:

$$P_{q,i}^{(j)} \leftrightarrow w_{q,i}^{(j)}, j = 1, \dots, J; q = 1, \dots, Q; i = 1, \dots, n_q,$$
 (3)

де $w_{q,i}^{(j)}$ – вага показника $P_{q,i}^{(j)}$.

Важливий момент представляє задання нечітких відносин сумісності між показниками, так як в подальшому саме ці нечіткі відносини визначають операції згортки показників в нечіткій оціночній моделі. Ці нечіткі відношення задаються між показниками з підмножин $P_q^{(j)}$ на кожному рівні ієрархії моделі:

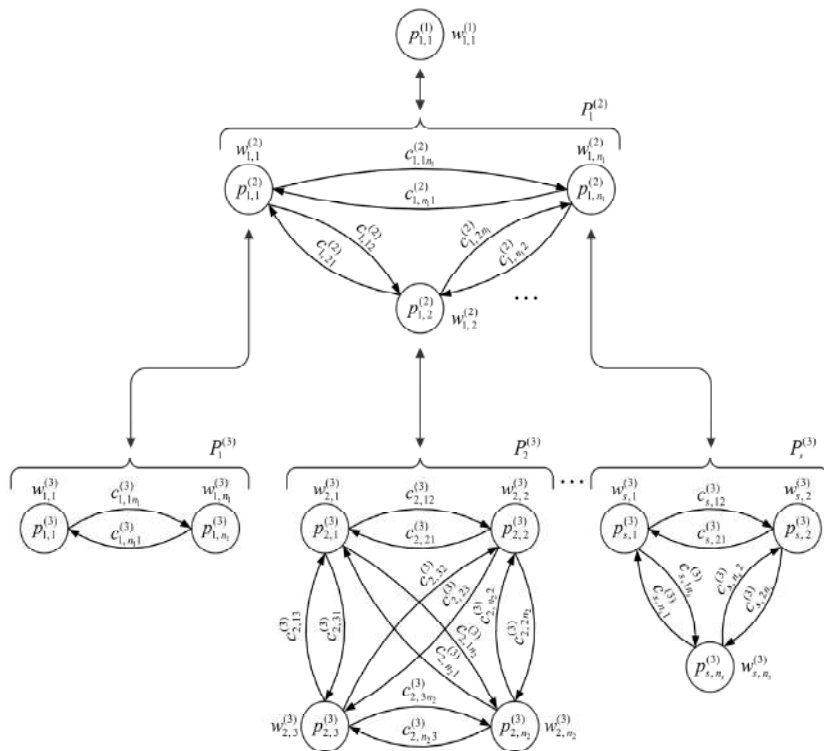


Рис. 1. Фрагмент нечіткої оціночної моделі

$$\tilde{R}_q^{(j)} = \left\{ \left(\frac{p_{q,k}^{(j)}, p_{q,l}^{(j)}}{c_{q,k}^{(j)}} \right) \right\}, \quad (4)$$

$$j = 1, \dots, J; q = 1, \dots, Q; k, l \in \{1, \dots, n_q\}$$

де $\tilde{R}_q^{(j)}$ – нечітке відношення сумісності між показниками підмножини $P_q^{(j)}$; $c_{q,k}^{(j)}$ – ступінь сумісності показників $p_{q,k}^{(j)}$ та $p_{q,l}^{(j)}$.

Залежно від особливостей розв’язуваної задачі оцінки, сумісність може трактуватися як кореляція, взаємовплив часткових показників, одночасна досяжність значень співставляємих часткових показників.

Етап 2. Визначення ступенів сумісності показників, що агрегуються

Для визначення ступенів сумісності часткових показників можуть використовуватися як прямі, так і непрямі методи. При використанні прямих способів значення ступенів сумісності $c_{q,kl}^{(j)} \in [0,1]$ показників $p_{q,k}^{(j)}$ та $p_{q,l}^{(j)}$ ($k, l = 1, \dots, n$, де n – число показників) в нечіткому відношенні сумісності $\tilde{R}_q^{(j)} = \left\{ \left(\frac{p_{q,k}^{(j)}, p_{q,l}^{(j)}}{c_{q,k}^{(j)}} \right) \right\}$ можуть бути задані безпосередньо самими експертами або отримані в результаті експериментів.

Непрямі методи використовуються, якщо складно безпосередньо оцінити ступінь сумісності показників.

Крім того, значення $c_{q,kl}^{(j)}$ можуть бути зіставлені з критеріальними рівнями сумісності, впорядкованими в порядку зростання ступеня сумісності, наприклад, відповідно до шкали Харрінгтона, С = {NC – “низький рівень”, LC – “Рівень нижче середнього”, MC – “Середній рівень”, HC – “Рівень вище середнього”, FC – “Вищий рівень”}:

$$c_{k,l} \leftrightarrow c_u \in C = \{NC, LC, MC, HC, FC\}, k, l = 1, \dots, n,$$

де u – індекс елемента множини С.

Нечіткі відношення сумісності між показниками з підмножин $P_q^{(j)}$ зручно представити у вигляді нечітких орієнтованих графів $\tilde{G}_q^{(j)}$ з нечіткими вершинами і нечіткими дугами:

$$\tilde{G}_q^{(j)} = (\tilde{P}_q^{(j)}, \tilde{R}_q^{(j)}) \quad (5)$$

При цьому, оскільки для всіх підмножин показників нечіткі відносини сумісності задаються аналогічним чином, перейдемо в подальшому до наступного більш наочного позначення і опису нечіткого графа сумісності показників:

$$\tilde{G} = (\tilde{P}, \tilde{R}) \quad (6)$$

де $\tilde{P} = \{p_i / \mu_p(p_i)\}$ – нечітка множина показників (вершин) $p_i \in P$, $i \in \{1, \dots, n\}$; $\mu_p(p_i) \in [0,1]$ – ступінь належності до базової множини для показника p_i ; $\tilde{R} = \left\{ \left(\frac{p_k, p_l}{c_{kl}} \right) \right\}, k, l = 1, \dots, n$, – нечітка множина орієнтованих дуг, причому кожна дуга (p_k, p_l) співставлена відповідному рівню сумісності $c_{kl} \in [0,1]$ показників p_k та p_l .

Нечітке представлення показників дозволяє використовувати для їх оцінки розвиненого апарата теорії нечітких множин і чисел. Представлення ж ступеню сумісності між показниками на основі нечітких відносин сумісності дозволяє застосовувати для їх аналізу підходи і методи теорії нечітких відносин.

У випадку, коли складно безпосередньо оцінити ступінь сумісності показників, пропонується спосіб,

заснований на попарному порівнянні всіх показників оцінки і заповненні, так званих, таблиць сполучення між лінгвістичними значеннями цих показників.

Число рядків і стовпців в таблицях сполучуваності для кожної пари показників відповідають лінгвістичним градаціям їх оцінок. На перетині рядка та стовпця ставиться символ «+», якщо можливо відповідне поєднання значень для показників, сумісних із вказаним ступенем. В іншому випадку ставиться символ «-». Частка символів «+» в таблиці визначає ступінь сумісності одного показника з іншим.

У разі великої кількості показників, для більш точного визначення ступеня їх сумісності, слід збільшити число градацій на лінгвістичних шкалах.

Для оцінки сумісності n показників експертом заповнюються $\frac{n!}{(n-2)!}$ таблиць сполучення.

Етап 3. Обґрунтування набору операцій для агрегування показників

У роботах [3-12] сформульовані вимоги до нечітких моделей оцінювання, що розроблюються, а також до методів прямого і зворотного нечіткого оцінювання на їх основі для підтримки вибору рішень. Ці вимоги багато в чому обумовлені вибором операцій згортки і способом їх зіставлення зі ступенем сумісності показників, що агрегуються.

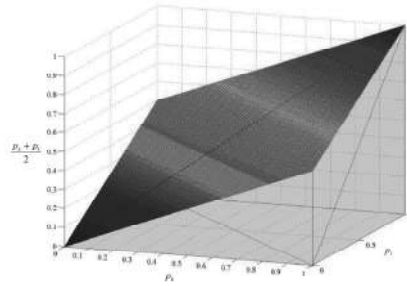
Також, виходячи із сформованих вимог до мінімізації витрат ресурсів і часу для підготовки до проведення оцінки передбачається використання нечітких аналітичних згорток замість FIS-моделей. Це обумовлено, в тому числі, складністю налаштування і використання FIS-моделей як при прямому, так і при зворотному нечіткому оцінюванні альтернатив.

При оцінці і виборі альтернатив рішень особа, що приймає рішення, може керуватися різними стратегіями, екстремальними варіантами яких є: досягнення найнижчого значення з усіх показників або досягнення максимального значення хоча б по одному з показників. Для двомісного випадку цим екстремальним стратегіям відповідають такі операції згортки показників p_k та p_l : $\min(p_k, p_l)$ та $\max(p_k, p_l)$. Для визначення ступеня компромісності двомісних операцій згортки пропонується використовувати параметр $\theta \in [0,1]$. При цьому, чим менше значення параметра θ , тим менше ступінь компромісності показників p_l та p_k . Значення параметра θ будемо обчислювати відповідно до виразу:

$$\theta = \frac{v - v_{\min}}{v_{\max} - v_{\min}}, \quad (7)$$

де v – значення “об’єму” під поверхнею функції, утвореної в результаті застосування відповідної операції згортки; а v_{\min} та v_{\max} – в результаті операцій $\min(p_k, p_l)$ та $\max(p_k, p_l)$, відповідно.

Проведено аналіз найбільш поширених двомісних операцій згортки, які характеризуються зазначеними вище властивостями [10, 12], і для цих операцій визначені значення параметра θ . У табл. 1 представлені операції згортки, що задовольняють зазначеним вимогам в порядку зростання значення параметра θ .

Рис. 2. Поверхня, що утворена в результаті використання згортки $\frac{p_k + p_l}{2}$

З табл. 1 можна зробити висновок, що для екстремальних стратегій оцінювання значення параметра $\theta = 0$ відповідає операції згортки $\min(p_k, p_l)$, $\theta = 1$ – операції згортки $\max(p_k, p_l)$. Іншим операціям згортки відповідають значення параметра $0 < \theta < 1$. На рис. 2 показаний приклад поверхні, утвореної в результаті застосування операції згортки $\frac{p_k + p_l}{2}$ для розрахунку значення параметра θ .

При побудові моделей оцінки можуть зустрічатися ситуації, коли для декількох (більше двох) показників ступеня їх сумісності (або критеріальних рівнів їх сумісності) збігаються. Для отримання узагальненої оцінки потрібно послідовно попарно згорнути ці показники з використанням однієї і тієї ж операції. У цьому випадку на результат оцінки впливає наявність властивості асоціативності операції, що застосовується. Відповідно необхідно врахувати вимогу властивості асоціативності

для операцій згортки. Подальший же аналіз використання асоціативних операцій згортки дозволяє зробити висновок про недоцільність використання операції $\frac{p_k p_l}{1 - p_k - p_l + 2 p_k p_l}$ для запропонованої моделі через істотне збільшення невизначеності при зворотному нечіткому оцінюванні.

Решта операцій згортки задовольняють всім висунутим вимогам і складають набір операцій для зіставлення зі ступенями сумісної вартості показників (табл. 2). На рис. 3 показані поверхні, утворені в результаті застосування цих згорток.

Етап 4. Зіставлення ступенів сумісності показників, що агрегуються, з операціями їх згортки

Можна відзначити, що три операції з відібраних на попередньому етапі операцій згортки є, по суті, варіантами однієї і тієї ж параметризованої операції med з

Таблиця 1 – Операції згортки, які доцільно використовувати [10, 12]

№ з/п	Операція згортки показників p_k та p_l	Значення параметра θ	№ з/п	Операція згортки показників p_k та p_l	Значення параметра θ
1	$\min(p_k, p_l)$	0,0	8	$\frac{p_k + p_l - p_k p_l}{1 + p_k + p_l - 2 p_k p_l}$	0,5
2	$\text{med}(p_k, p_l; 0,25)$	0,16	9	$\frac{\max(x, y)}{1 + x - y }$	0,5
3	$\frac{2 p_k p_l}{p_k + p_l}$	0,23	10	$\frac{p_k p_l}{1 - p_k - p_l + 2 p_k p_l}$	0,5
4	$\sqrt{p_k p_l}$	0,33	11	$1 - \sqrt{(1 - p_k)(1 - p_l)}$	0,67
5	$\text{med}(p_k, p_l; 0,5)$	0,5	12	$\text{med}(p_k, p_l; 0,75)$	0,84
6	$\frac{\min(p_k, p_l)}{1 - p_k - p_l }$	0,5	13	$\max(p_k, p_l)$	1,0
7	$\frac{p_k + p_l}{2}$	0,5			

Таблиця 2 - Обґрунтований набір операцій згортки

№ з/п	Операція згортки показників p_k та p_l	Значення параметра θ
1	$\min(p_k, p_l)$	0,0
2	$\text{med}(p_k, p_l; 0,25)$	0,16
3	$\text{med}(p_k, p_l; 0,5)$	0,5
4	$\text{med}(p_k, p_l; 0,75)$	0,84
5	$\max(p_k, p_l)$	1,0

різними значеннями параметра. Ця особливість використовується для запропонованого способу зіставлення ступенів сумісності показників з операціями їх згортки.

Для зіставлення ступенів сумісності показників, що агрегуються з операціями згортки, як правило, використовуються прямі способи безпосереднього встановлення експертом такої відповідності.

Однак з обґрунтованого на попередньому етапі набору операцій можна зробити висновок, що вся безліч компромісних стратегій забезпечує параметризоване сімейство операцій згорток типу:

$$\text{med}(p_k, p_l; \alpha), k, l \in \{1, \dots, n\}, \alpha \in [0, 1] \quad (8)$$

Причому, значення параметра θ можуть використовувати ступені сумісності показників, що агрегуються, p_k та p_l . Для ілюстрації зазначеного на рис. 4 представлена залежність θ від α .

Також значення параметра α операції згортки $\text{med}(p_l, p_k, \alpha)$ можуть бути зіставлені з критеріальними рівнями сумісності показників. У табл. 3 наведено приклад такого зіставлення.

Етап 5. Визначення стратегії оцінювання

Стратегія оцінювання визначається, виходячи з переваг особи, що приймає рішення, а також особливостей об'єктів оцінки і полягає в завданні порядку огляду ступенів сумісності показників, що обумовлює порядок агрегування показників в моделі.

Можуть бути задані дві основні стратегії нечіткого оцінювання: від найменш сумісних показників до найбільш сумісних показників;

від найбільш сумісних показників до найменш сумісних показників.

Причому, стратегія оцінювання може задаватися як для всієї моделі, так і окремо для кожної з підмножин показників.

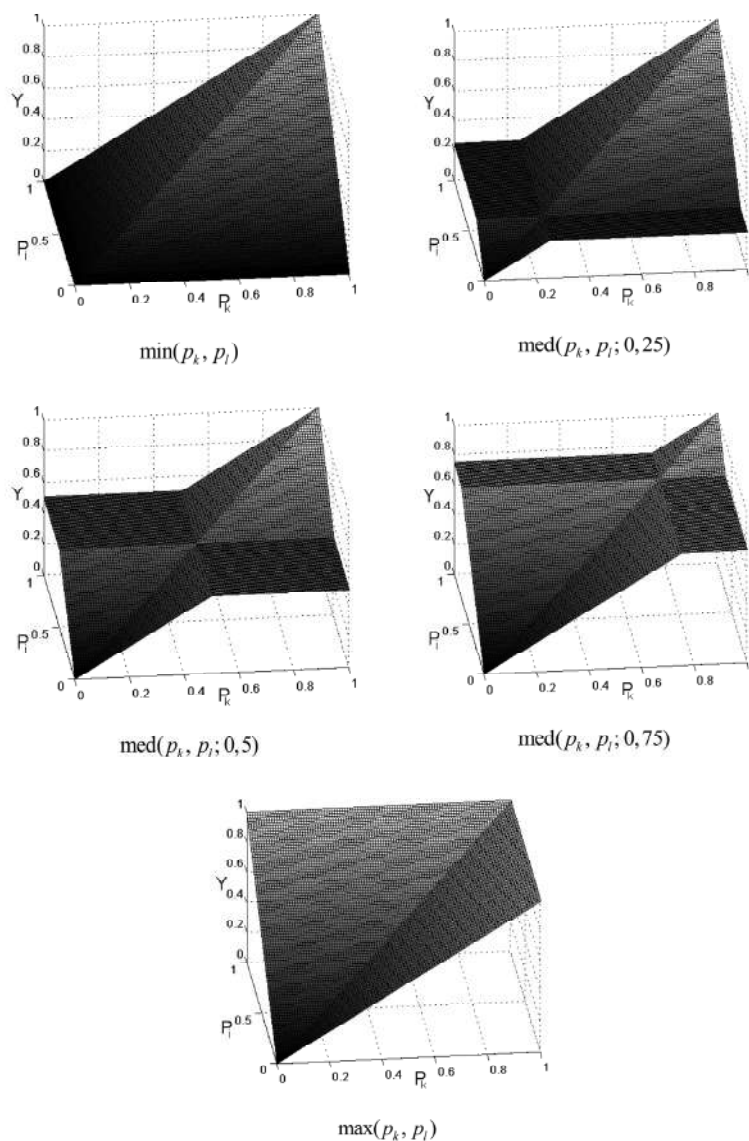
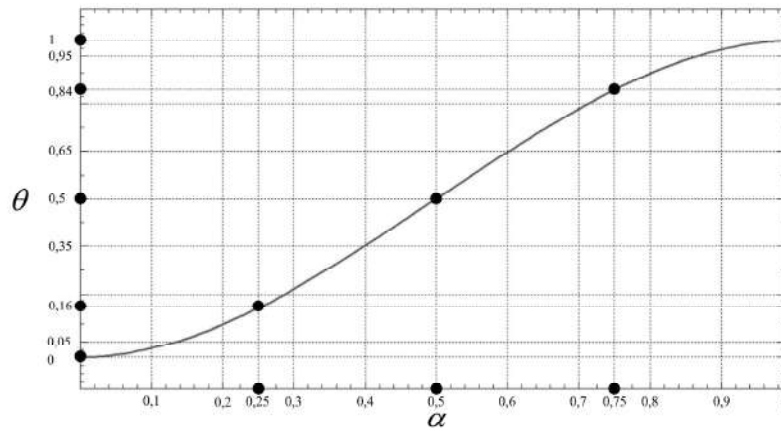


Рис. 3. Приклади обґрунтованих операцій згортки показників p_l та p_k

Рис. 4. Графік залежності θ від α для операції згортки $\text{med}(p_l, p_k, \alpha)$ Таблиця 3 - Зіставлення значень параметра операції згортки $\text{med}(p_l, p_k, \alpha)$ з критеріальними рівнями сумісності показників

№ з/п	Операція згортки показників p_k та p_l	Критеріальні рівні сумісності показників p_l и p_k	
		Позначення	Опис
1	$\text{med}(p_k, p_l; 0,0)$	NC	Низький рівень
2	$\text{med}(p_k, p_l; 0,25)$	LC	Рівень нижче середнього
3	$\text{med}(p_k, p_l; 0,5)$	MC	Середній рівень
4	$\text{med}(p_k, p_l; 0,75)$	HC	Рівень вище середнього
5	$\text{med}(p_k, p_l; 1,0)$	FC	Високий рівень

Етап 6. Розбиття нечіткого відношення сумісності на класи сумісності та вибір відповідних їм операцій згортки

Розглянемо випадок стратегії оцінювання від найменш сумісних показників до найбільш сумісних показників.

Нечітке відношення сумісності показників може бути розбите на так звані класи сумісності щодо критеріальних рівнів сумісності.

На рис. 5 показано, що нечітке відношення сумісності \tilde{R} щодо критеріального рівня NC – “Відсутність сумісності” може бути розділене на два класи сумісності.

Для агрегування показників всередині одного класу сумісності показників використовується одна і та ж

операція, відповідна заданому критеріальному рівню. І порядок згортки показників всередині одного класу не важливий. Для розглянутого випадку показники p_1 та p_2 агрегуються з використанням операції $\text{med}(p_1, p_2; 0,0)$ або операції $\text{min}(p_1, p_2)$.

Етап 7. Модифікація нечіткого відношення сумісності.

Після згортки показників потрібно виконати модифікацію нечіткого відношення сумісності і зміну ступенів (рівнів) сумісності показників з урахуванням нового агрегованого показника $p_{1,2}$, вага якого буде рівна сумі ваги агрегованих показників (рис. 6).

Етап 8. Формування структури згортки показників

Етапи 6 і 7 повторюються на всіх рівнях ієрархії нечіткої оціночної моделі, починаючи з нижнього, а на кожному рівні ієрархії – для всіх підмножин показників.

В результаті формується структура згортки показників в наступному вигляді:

$$h^*(p_1, \dots, p_n) = h_u(h_y(\dots(h_t(p_1, p_2), \dots), p_{n-1}), p_n)) \quad (9)$$

де t, y, u – індекси операції згортки, що відповідає різним рівням узгодженості показників.

Етап 9. Задання зважених значень показників і нечітке оцінювання альтернатив

На даному етапі для кожної з оцінюваних альтернатив $A = \{a_1, \dots, a_j, \dots, a_m\}$ задаються значення всіх показників $\{p_1, \dots, p_i, \dots, p_n\}$ нижнього рівня ієрархії моделі.

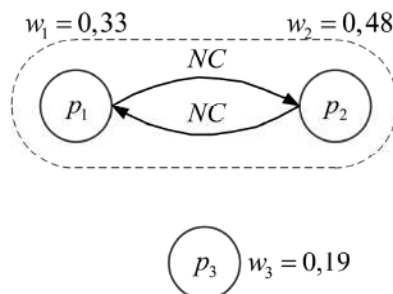


Рис. 5. Класи сумісності нечіткого відношення сумісності

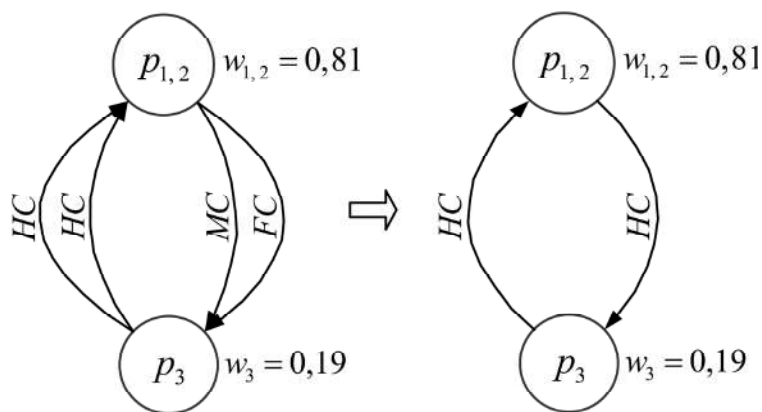


Рис. 6. Приклад модифікації нечіткого відношення сумісності

Нечітке значення показника p_i альтернативи a_i в загальному випадку може бути представлено у вигляді нечіткої множини (числа) $p_i = \{p_i / \mu_{\tilde{p}_i}(p_i)\}$ даного на $p_i \in [0,1]$ значеннями функції належності $\mu_{\tilde{p}_i}(p_i) \in [0,1]$. В окремому випадку значення показника p_i альтернативи a_i може бути представлено чітким значенням $p_i(a_j) \in [0,1]$. Надалі, якщо не обумовлено зворотне, будемо використовувати чіткі значення показників. Безпосередньо перед початком прямого нечіткого оцінювання потрібно врахувати різну значимість показників. Процедура обліку значимості показників виконується перед згортою для кожної пари показників p_k та p_l у відповідності з наступними виразами:

$$\begin{aligned} p'_k &= p_k + (p_k - p_l) \cdot (w_k - \max(w_k, w_l)), \\ p'_l &= p_l + (p_l - p_k) \cdot (w_l - \max(w_k, w_l)). \end{aligned} \quad (10)$$

У разі рівного розподілу ваги, оцінки за показниками не змінюються. Якщо вага одного показника менше ваги іншого, то відбувається коригування значення показника з меншою вагою, з урахуванням різниці між значеннями і вагами показників.

ВИСНОВКИ

Наукова новизна зазначеного дослідження полягає в наступному.

1. Запропоновано нечіткі оціночні моделі, що входять до складу запропонованої методики для створення програмних засобів підтримки вибору рішень, враховують ієрархічну структуру, взаємну сумісність і різну значимість оцінюваних показників.

2. Розроблено методику нечіткого оцінювання, орієнтовану на програмну реалізацію розширених можливостей запропонованих нечітких оціночних моделей з урахуванням різного характеру агрегування і взаємовпливу показників, що оцінюються, вибору операцій згортки і стратегій оцінювання.

3. Практична цінність запропонованої методики полягає в тому, що на її основі було проведено розробку програмних засобів підтримки вибору рішень в процесі створення зразків ОВТ, що включають в себе модулі: візуального редактора; конструювання процесів оцінки і вибору рішень; побудови і настройки нечіткої оціночної моделі (формування ієрархічної структури показників

оцінки, завдання ваг і нечітких відносин сумісності між показниками); вибору і зіставлення операцій згортки показників ступенів сумісності показників; прямого і зворотного нечіткого оцінювання (завдання значень показників, завдання стратегії оцінювання, розбиття нечіткого відношення сумісності на класи сумісності, модифікації нечіткого відношення сумісності, побудови і обходу дерев рішень).

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ларичев О. И., Петровский А. Б. Системы поддержки выбора решений: современное состояние и перспективы развития. Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ, 1987. Т. 21, 323 с.
2. Ларичев О. И., Мошквич Е. М. Качественные методы принятия решений. М.: Наука, 1996. 401 с.
3. Кагулев А. Н., Северцев Н. А. Математические методы в системах поддержки выбора решений: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 2005. 311 с.
4. Петровский А. Б. Компьютерная поддержка принятия решений: современное состояние и перспективы развития. Системные исследования. Методологические проблемы: ежегодник; под ред.: Д. М. Гвишиани, В. Н. Садовского. 1995–1996. М.: Эдиториал УРСС. № 24. С. 146–178.
5. Петровский А. Б. Теория принятия решений. М.: Академия, 2009. 398 с.
6. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка принятия решений. М.: СИНТЕГ, 1998. 468 с.
7. Орлов А. И. Теория принятия решений. Учебное пособие. М.: Март, 2004. 656 с.
8. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. 2-е изд. М.: Наука, 1988. 208 с.
9. Кини Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.
10. Roy, B. Multicriteria methodology for decision aiding. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1996. 223 p.
11. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

12. Saaty, T. L. *The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. McGraw-Hill, New York, 1980. 287 p.
13. Алтунин А. Е., Семухин М. В. *Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях*. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2000. 352 с.
14. *Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта* / Аверкин А. Н. и др.; под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.
15. Мелихов А. Н., Бернштейн Л. С., Коровин С. Я. *Ситуационные советующие системы с нечёткой логикой*. М.: Наука, 1990. 440 с.
16. *Обработка нечеткой информации в системах принятия решений* / Борисов А. Н. и др. 1989. 304 с.
17. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. *Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования*. Рига: Зинатне, 1990. 184 с.
18. Поспелов Д. А. *Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта*. М.: Наука, Физ. мат. лит., 1986. 312 с.
19. Беллман Р., Заде Л. *Принятие решений в расплывчатых условиях*. Вопросы анализа и процедуры принятия решений: сб. переводов; под ред. И. Ф. Шахнова. М.: Мир, 1976. С. 172–215.
20. Bellman, R. E. and Zadeh, L. A. *Decision-making in fuzzy environment*. *Management Science*. Vol.17. No.4. 1970. Pp. 141–164.
21. Mamdani, E. H. and Assilian, S. *An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller*. *Int. J. of Man-Machine Studies*. Vol. 7. No. 1. 1975. P. 1–13.
22. Sugeno, M. *Industrial applications of fuzzy control*. Elsevier Science Pub. Co., 1985. 269 p.
23. Дюбуа Д., Прад А. *Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике*. М.: Радио и связь, 1990. 288 с.
24. Кофман А., Хил Алуха Х. *Введение теории нечетких множеств в управлении предприятиями*. Минск: Вышэйшая школа, 1992. 224 с.
25. Takagi, T. and Sugeno, M. *Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control*. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. Vol. 15. No 1. 1985. Pp. 116–132.
26. Ягер Р. *Множества уровня для оценки принадлежности нечетких подмножеств. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения; пер. с англ.; под ред. Р. Р. Ягера*. М.: Радио и связь, 1986. С. 71–78.
27. Заде Л. *Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений*. М.: Мир, 1976. 165 с.
28. Заде Л. *Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. Математика сегодня*. М.: Знание, 1974. С. 5–49.
29. Zadeh, L. A. *Fuzzy sets*. *Information and Control*. Vol. 8. 1965. Pp. 338–353.
30. Стрижак О. Є. *Засоби онтологічної інтеграції і супроводу розподілених просторових та семантичних інформаційних ресурсів. Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. пр.; редкол. : О. С. Волошкіна, О. М. Трофимчук (голов. ред.)* [та ін.]. Київський нац. ун-т буд-ва і архітектури, Ін-т телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ. 2013. Вип. 12. С. 166-177.
31. Стрижак А. Е. *Онтологические аспекты трансдисциплинарной интеграции информационных ресурсов. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. 2014. № 65. С. 211-223.
32. Стрижак О. Є., Горбуров В. В., Франчук О. В., Попова М. А. *Онтологія задачі вибору та її застосування при аналізі лімнологічних систем. Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. пр.; редкол. : О. С. Волошкіна, О. М. Трофимчук (голов. ред.)* [та ін.]. Київський нац. ун-т буд-ва і архітектури, Ін-т телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАНУ. Київ, 2014. Вип. 15. С. 172-183.
33. Головін О. О., Стрижак О. Є. *Окремі технологічні аспекти впровадження принципів мережецентричності в перспективні знання – орієнтовані інформаційно-аналітичні системи управління розвитком озброєння та військової техніки. Озброєння та військова техніка. Київ: ЦНДІ ОБТ ЗС України. 2018. Вип. 4(20). С. 19 – 25.*

REFERENCES

1. Larichev, O. I. and Petrovskiy, A. B. (1987), “Sistemy podderzhki vybora resheniy: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya” [Decision Support Systems: Current State and Development Prospects]. *VINITI*, M. V. 21, 323 p.
2. Larichev, O. I. and Moshkevich, Ye. M. (1996), “Kachestvennyye metody prinyatiya resheniy” [Qualitative decision making methods]. *Nauka*, M. 401 p.
3. Katulev, A. N. and Severtsev, N. A. (2005), “Matematicheskiye metody v sistemakh podderzhki vybora resheniy: ucheb. Posobiye” [Mathematical methods in decision support systems]. M. 311 p.
4. Petrovskiy, A. B. “Komp’yuternaya podderzhka prinyatiya resheniy: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya. Sistemnyye issledovaniya. Metodologicheskiye problemy” [Computer decision support: current state and development prospects]. Editorial URSS, M. № 24. 1995-1996. Pp. 146-178.
5. Petrovskiy, A. B. (2009), “Teoriya prinyatiya resheniy” [Decision theory]. *Publ. Akademiya*, M. 398 p.
6. Trakhtengerts, E. A. (1998), “Komp’yuternaya podderzhka prinyatiya resheniy” [Computer decision support]. *SINTEG*, M. 468 p.
7. Orlov, A. I. (2004), “Teoriya prinyatiya resheniy” [Decision making theory. Tutorial]. M. 656 p.
8. Venttsel’, Ye. S. (1988), “Issledovaniye operatsiy: zadachi, printsipy, metodologiya. 2-ye izd.” [Operations Research: Tasks, Principles, Methodology]. M. 208 p.
9. Kini, R. L. and Rayfa, K. H. (1981), “Prinyatiye resheniy pri mnogikh kriteriyakh: predpochteniya i

- zameshcheniya" [Decision making under many criteria: preferences and substitutions]. M. 560 p.
10. Roy, B. (1996), "Multicriteria methodology for decision aiding". Kluwer Academic Publishers, Dodrecht, 223 p.
 11. Saati, T. (1993), "Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy" [Making decisions. Hierarchy analysis method]. M., 278 p.
 12. Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York, 1980. 287 p.
 13. Altunin, A. Ye. and Semukhin, M. V. (2000), "Modeli i algoritmy prinyatiya resheniy v nechetkikh usloviyakh" [Decision Models and Algorithms in Fuzzy Conditions]. Publ. Tyumen State Univ. Tyumen, 352 p.
 14. Averkin, A. N., etc. (1986), "Nechetkiye mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta" pod. red. D. A. Pospelova" [Fuzzy sets in control and artificial intelligence models, ed. D. A. Pospelov]. Nauka, M. 312 p.
 15. Melikhov, A. N., Bernshteyn, L. S. and Korovin, S. Ya. (1990), "Situatsionnyye sovetuyushchiye sistemy s nehotkoy logikoy" [Fuzzy Situational Advisory Systems]. Nauka, M. 440 p.
 16. Borisov, A. N. etc. (1989), "Obrabotka nechetkoy informatsii v sistemakh prinyatiya resheniy" [Making decisions based on fuzzy models: examples of use]. 304 p.
 17. Borisov, A. N., Krumberg, O. A. and Fedorov, I. P. (1990), "Prinyatiye resheniy na osnove nechetkikh modeley: Primery ispol'zovaniya" [Making decisions based on fuzzy models: examples of use]. Riga. 184 p.
 18. Pospelov, D. A. (1986), "Nechetkiye mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta" [Fuzzy sets in control and artificial intelligence models]. M. 312 p.
 19. Bellman, R. and Zade, L. (1976), "Prinyatiye resheniy v rasplyvchatykh usloviyakh" [Decision Making in Vague Conditions], Voprosy analiza i protsedury prinyatiya resheniy: sb. perevodov – Analysis Questions and Decision Procedures: Coll. Translation, ed. I. F. Shakhnova]. M. Pp. 172–215.
 20. Bellman, R. E. and Zadeh, L. A. Decision-making in fuzzy environment. Management Science. Vol. 17. No.4. 1970. Pp. 141–164.
 21. Mamdani, E. H. and Assilian, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. Int. J. of Man-Machine Studies. Vol. 7. No. 1. 1975. P. 1–13.
 22. Sugeno, M. Industrial applications of fuzzy control. Elsevier Science Pub. Co., 1985. 269 p.
 23. Dyubua, D. and Prad, A. (1990), "Teoriya vozmozhnostey. Prilozheniya k predstavleniyu znaniy v informatike" [Theory of Opportunities. Applications to there presentation of knowledge in computer science]. M. 288 p.
 24. Kofman, A. and Khil Alukha Kh. (1992), "Vvedeniye teorii nechetkikh mnozhestv v upravlenii predpriyatiyami" [Introduction of the theory of fuzzy sets in enterprise management]. M. 224 p.
 25. Takagi, T. and Sugeno, M. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Vol. 15. No 1. 1985. Pp. 116–132.
 26. Yager, R. (1986), "Mnozhestva urovnya dlya otsenki prinadlezhnosti nechetkikh podmnozhestv" [Level sets for assessing the belonging of fuzzy subsets, Fuzzy sets and the theory of possibilities]. M. Pp. 71–78.
 27. Zade, L. (1976), "Ponyatiye lingvisticheskoy peremennoy i yego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy" [The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions]. M. 165 p.
 28. Zade, L. (1974), "Osnovy novoho podkhoda k analyzu slozhnykh system y protsessov prinyatiya resheniy" [Basics of a new approach to the analysis of complex systems and decision-making processes]. M. Pp. 5–49.
 29. Zadeh, L. A. Fuzzy sets. Information and Control. Vol. 8. 1965. Pp. 338–353.
 30. Stryzhak, O. E. (2013), "Zasobi ontologichnoyi integratsiyi i suprovodu rozpodilennykh prostorovih ta semantichnih informatsiynih resursiv" [Means of ontological integration and maintenance of distributed spatial and semantic information resources], Ecological safety and nature management: Coll. of scientific researches of Kyiv Nat. Univ. of Civil Engineering and Architecture and Inst. of Telecommunications and Global Information Space of the Nat. Acad. of Sciences of Ukraine. No. 12. Pp. 166-177.
 31. Stryzhak, O. E. (2014), "Ontologicheskie aspektyi transdistsiplinarnoy integratsii informatsionnykh resursov" [Ontological aspects of the transdisciplinary integration of information resources], Otkryitiye informatsonnyie i kompyuternyie integrirovannyye tehnologii. No. 65. Pp. 211-223.
 32. Strizhak, O. E., Goriterkov, V.V., Franchuk, O. V. and Popov, M. (2014), "Ontolohiia zadachi vyboru ta yii zastosuvannia pry analizi limnologichnykh system" [Ontology of the choice problem and its application in the analysis of limnological systems], Ecological safety and nature management: Coll. of scientific researches of Kyiv Nat. Univ. of Civil Engineering and Architecture and Inst. of Telecommunications and Global Information Space of the Nat. Acad. of Sciences of Ukraine. No. 15, pp. 172-183.
 33. Holovin, O. O. and Stryzhak, O. E. (2018), "Okremi tehnologichni aspekti vprovadzhennya printsipiv merezhentsentrchnosti v perspektivni znannya-orientovani informatsiyno-analitichni sistemi upravlinnya rozvitkom ozbroennya ta viyskovoyi tehniki" [Separate technological aspects of the introduction of the principles of network centricity into perspective knowledge-oriented information and analytical systems for the management of the development of armaments and military equipment], Weapons and military equipment, K., Central Scientific Research Inst. of Armament and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine. No. 4(20). Pp. 19 – 25.

Відомості про авторів:**Головін Олексій Олександрович**

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

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

e-mail: a_a_golovin@ukr.net

Зірка Марія Василівна науковий співробітник науково-дослідного відділу, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України

м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-2915-3011>

e-mail: mariia-soroka@ukr.net

Кадет Наталія Павлівна, старший викладач кафедри прикладної інформатики Національного авіаційного університету

м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-2954-6325>

e-mail: kadet-nata@ukr.net

Фреган Наталія Миколаївна

старший викладач кафедри іноземних мов Навчально-наукового центру іноземних мов Національного університету оборони України ім. І. Черняхівського

м. Київ, Україна

e-mail: natkiev@ukr.net

Коцюрuba Володимир Іванович

доктор технічних наук, доцент, професор, Національний університет оборони України ім. І. Черняхівського

м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-6565-9576>

e-mail: kotcuru@ukr.net

Information about the authors:**Oleksii Holovin**

Candidate of Technical Sciences

Senior Research

Chief of the Directorate for Scientific Research of Armament and Military Equipment of the Air Force of Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

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

e-mail: a_a_golovin@ukr.net

Zirka Mariia Vasylivna

researcher of the Central research institute of armament and military equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv.

<https://orcid.org/0000-0003-2915-3011>

e-mail: mariia-soroka@ukr.net

Kadet Nataliia Pavlivna

Senior lecturer of National Aviation University, Kyiv

<https://orcid.org/0000-0003-2954-6325>

e-mail: kadet-nata@ukr.net

Fregan Nataliia Mykolaevna

Senior lecturer of the department of National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv

e-mail: natkiev@ukr.net

Kotsiuruba Volodymyr

Doctor of Technical Sciences, Senior Research

Department of Operative and Combat Support

Ivan Chernyakhovsky National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-6565-9576>

e-mail: kotcuru@ukr.net

Стаття надійшла до редколегії 24.07.2019 р.

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

<https://orcid.org/0000-0002-1919-8526>

Рецензент О. О. Расстригін, д-р техн. наук, професор
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

<https://orcid.org/0000-0002-1482-6111>

УДК 623.983

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3\(23\).110-116](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3(23).110-116)**А. В. ДЕРЕПА**, доктор технічних наук,
старший науковий співробітник<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>

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

О. Г. ЛЕЙКО, доктор технічних наук, професор<https://orcid.org/0000-0002-5588-6449>**О. І. ДРОЗДЕНКО**, кандидат технічних наук,
доцент<https://orcid.org/0000-0001-6647-1428>

(Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)

А. О. СВЯТНЕНКО, начальник науково-дослідного відділу<https://orcid.org/0000-0002-2084-2243>

(Державне підприємство «Київський науково-дослідний інститут гідроапаратури», м. Київ)

Механічна міцність гідроакустичних циліндричних випромінювачів з внутрішніми екранами

Проведені дослідження частотних і кутових характеристик амплітуд коливальних швидкостей циліндричних випромінювачів у внутрішньому об'ємі яких, заповненому рідиною, розміщені акустичні екрани в залежності від відстані між п'єзокерамічною оболонкою випромінювачів та екраном. Здійснена оцінка на їх основі можливостей механічної міцності випромінювачів. Показано, що така технічна реалізація гідроакустичних випромінювачів створює ряд переваг, цікавих з точки зору підвищення ефективності гідролокаційних станцій. Встановлено, що коливальна швидкість реальних джерел звуку суттєво залежить як від внутрішнього імпедансу, так і від реакції зовнішнього оточуючого середовища, оскільки джерела звуку відзначаються кінцевими значеннями свого внутрішнього механічного опору. Тому зміною звукового поля у внутрішній порожнині перетворювача можливо управляти параметрами його механічного поля. При роботі гідролокаційних станцій в режимі випромінювання в області низькочастотних резонансів екранованих перетворювачів суттєво збільшується небезпека механічного руйнування перетворювачів гідроакустичних антен в зв'язку з різким збільшенням амплітуд їх коливальних швидкостей та появою можливості перевищення амплітудами коливальних швидкостей значень, допустимих з точки зору механічної міцності. Ця обставина повинна враховуватись при побудові генераторних пристроїв трактів випромінювання гідролокаційних станцій.

Ключові слова: гідролокаційна станція, акустичний екран, циліндричний випромінювач.

Проведены исследования частотных и угловых характеристик амплитуд колебательных скоростей цилиндрических излучателей во внутреннем объеме которых, заполненному жидкостью, размещены акустические экраны в зависимости от расстояния между пьезокерамической оболочкой излучателей и экраном. На их основе проведена оценка возможностей механической прочности излучателей. Показано, что такая техническая реализация гидроакустических излучателей создает ряд преимуществ, интересных с точки зрения повышения эффективности гидролокационных станций. Установлено, что колебательная скорость реальных источников звука существенно зависит как от внутреннего импеданса, так и

от реакции внешней окружающей среды, поскольку источники звука отличаются конечными значениями своего внутреннего механического сопротивления. Поэтому изменением звукового поля во внутренней полости излучателя возможно управлять параметрами его механического поля. При работе гидролокационных станций в режиме излучения в области низкочастотных резонансов экранированных излучателей существенно увеличивается опасность разрушения излучателей гидроакустических антенн в связи с резким увеличением амплитуд их колебательных скоростей и появлением возможности превышения амплитудами колебательных скоростей значений, допустимых по механической прочности. Это обстоятельство должно учитываться при создании генераторных устройств трактів излучения гидролокационных станций.

Ключевые слова: гидролокационная станция, акустический экран, цилиндрический излучатель.

ВСТУП

Як відомо [1], під ефективністю гідролокаційних станцій (ГЛС) розуміється «перевищення звукового тиску переданого імпульсу на відстані 1 м від джерела над рівнем звукового тиску ехосигналу, що мінімально виявляється в даних умовах». Одними із основних факторів, що обмежують ефективність ГЛС, являються їх енергетичні можливості. В режимі випромінювання звуку ці можливості визначаються такими фізичними факторами як механічна динамічна міцність, електрична міцність, теплова міцність і кавітаційна міцність середовища, в умовах якого працюють гідроакустичні антени ГЛС. Аналіз досвіду експлуатації ГЛС [2-12] дозволяє стверджувати, що при побудові ГЛС із п'єзокерамічних випромінювачів слабкими елементами міцності їх гідроакустичних антен є п'єзокерамічні елементи випромінювачів. В першу чергу це обумовлено їх малою механічною міцністю на розрив. Особливість такого крихкого матеріалу як п'єзокераміка [7, 8] полягає в тому, що його механічна міцність на розтягування $\sigma_{розт} = (1,7 \div 3) \cdot 10^3 \frac{H}{см^2}$ на порядок менше механічної міцності на стискування $\sigma_{ст} = (35 \div 50) \cdot 10^3 \frac{H}{см^2}$. В той же час в процесі випромінювання звукової енергії п'єзокерамічні елементи випромінювачів в кожному періоді випромінювання випробовують на собі механічні динамічні розтягування, величина яких в значній мірі визначається [6] амплітудою коливної швидкості верхніх випромінювачів [6].

Відомо [5-8], що при побудові низькочастотних випромінюючих антен ГЛС доцільно реалізувати дві технічні вимоги. Перша з них полягає в тому, що енергетична ефективність режиму випромінювання ГЛС забезпечується тільки при умові роботи перетворювачів її гідроакустичної антени на частотах їх механічних резонансів. Друга вимога пов'язана з необхідністю зменшення хвильових розмірів випромінювачів ГЛС [9] для забезпечення вимоги формування заданих просторових вибіркової властивостей ГЛС. В плані реалізації цієї вимоги певні перспективи отримує ідея побудови гідроакустичних випромінювачів у вигляді кругових п'єзокерамічних циліндрів з внутрішніми акустичними екранами.

Метою цієї роботи є дослідження частотних і кутових характеристик амплітуд коливальних швидкостей циліндричних випромінювачів з внутрішніми акустичними

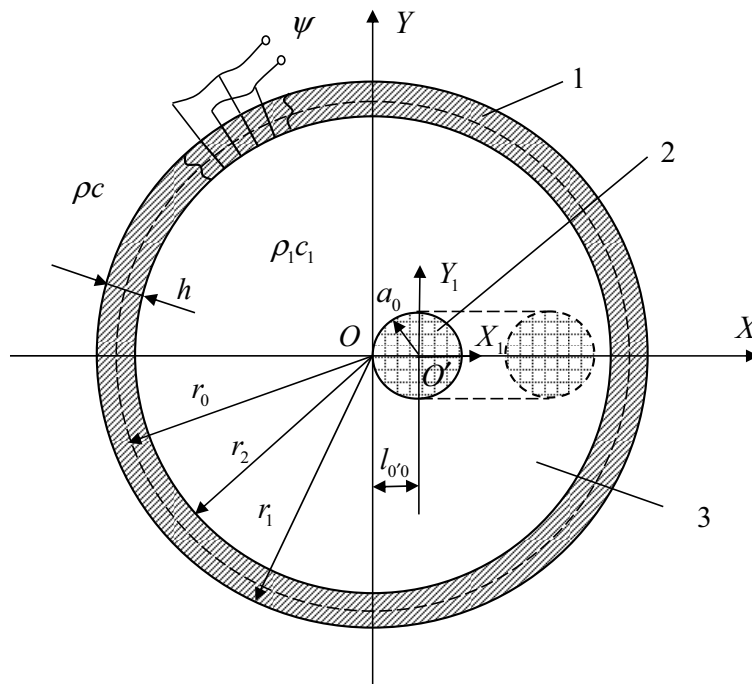


Рис. 1. Схема розміщення екрану у внутрішній порожнині оболонки

екранами в залежності від відстані між п'єзокерамічною оболонкою та екраном і оцінка на їх основі можливостей механічної міцності випромінювачів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглянемо випромінювання звуку циліндричним п'єзокерамічним гідроакустичним перетворювачем (рис. 1). Він утворений із циліндричної оболонки 1 середнім радіусом r_0 товщиною h , циліндричного акустично м'якого екрану 2 зовнішнім радіусом a_0 і рідини 3, яка заповнює внутрішню порожнину оболонки 1. Відстань між поздовжніми вісями оболонки та екрану позначимо через $l_{O'O}$. П'єзокерамічна оболонка має окружну поляризацію, утворена із M жорстко склеєних між собою електрично паралельно включених призм і збуджується електричною напругою $\psi = \psi_0 e^{-i\omega t}$. Середовища зовні і всередині оболонки мають густину ρ і ρ_1 та швидкість звуку c і c_1 відповідно.

Аналітичні співвідношення, що описують процес випромінювання звуку таким перетворювачем і які визначають фізичні поля, що приймають участь в цьому процесі, наведені в роботі [14]. Використаємо ці співвідношення для кількісної оцінки механічних полів п'єзокерамічних перетворювачів з внутрішніми екранами.

Оскільки відомо [13], що ступінь порушення радіальної симетрії побудови випромінювача грає принципову роль в процесі перетворення одного виду енергії в інші при випромінюванні або прийомі звуку, встановлення закономірностей змін параметрів екранованого перетворювача від величини відстані $l_{O'O}$ має важливе значення з точки зору фізичного розуміння роботи таких перетворювачів.

Аналіз частотних і кутових властивостей механічних полів екранованих випромінювачів в залежності від ступеню віддаленості екрану від випромінюючої

поверхні п'єзокерамічної оболонки виконані на основі великого об'єму чисельних результатів, одержаних для таких параметрів і характеристик випромінювачів: п'єзокераміка складу ЦТБС-3; $r_0 = 0,068$ м; $h = 0,008$ м; $a_0 = 0,2 r_0$; $\theta_{O'O} = 0^\circ$; $\rho c = \rho_1 c_1 = 1,5 \cdot 10^6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}}$; $\psi_0 = 200$ В; $l_{O'O} = 0$; $2a_0$; $r_2 - a_0 = 0,003$ м. Результати розрахунків частотних залежностей коливальних швидкостей наведені на рис. 2 і 3.

Аналіз і співставлення між собою графіків на рис. 2 дозволяє встановити закономірності поведінки коливальної швидкості при зміні ступеня несиметричності схеми побудови екранованого перетворювача.

При відсутності екрану частотна залежність амплітуди коливальної швидкості являє собою двогорбу криву, яка має два резонанси. Перший з них відповідає механічному резонансу п'єзокерамічної оболонки перетворювача у вакуумі. Другий резонанс визначається пружними властивостями рідини, яка заповнює внутрішній об'єм оболонки.

Як відомо [13], наявність рідини всередині оболонки може приводити як до зниження, так і до підвищення резонансної частоти оболонки з рідиною. Така поведінка визначається хвильовими розмірами оболонки на її резонансній частоті. Зокрема, оскільки $k_1 r_0 < 2,4$, то наявність рідини в оболонці приводить до збільшення її резонансної частоти. Наведене додатково свідчить про те, що, оскільки реальні джерела звуку відзначаються кінцевими значеннями свого внутрішнього механічного опору, то їх коливальна швидкість суттєво залежить як від внутрішнього імпедансу, так і від реакції зовнішнього оточуючого середовища. Тому зміною звукового поля у внутрішній порожнині перетворювача можливо управляти параметрами його механічного поля. Таку можливість дає введення до складу перетворювача внутрішнього екрану, що і демонструють криві на рис. 2.

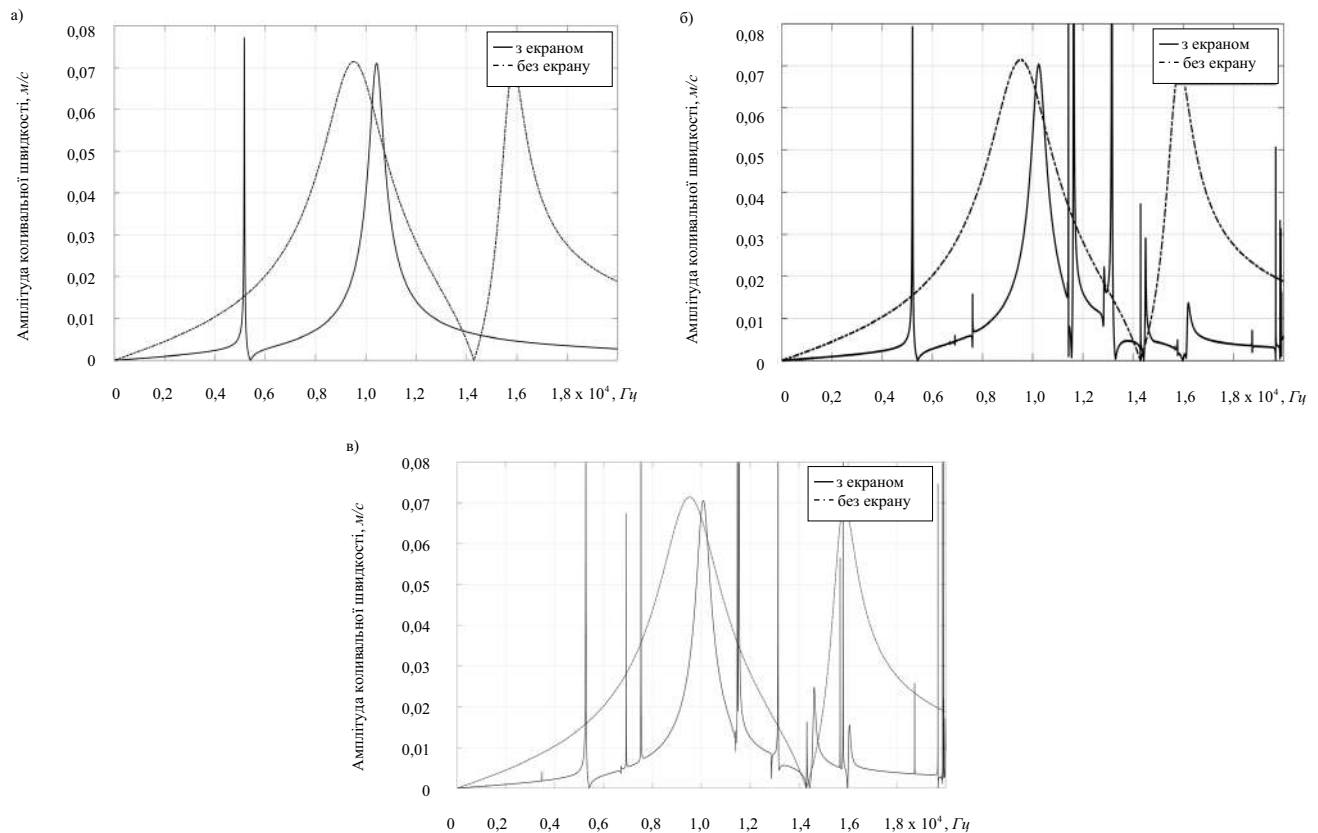


Рис. 2. Частотні залежності амплітуд коливної швидкості перетворювача при $l_{00} = 0$ (а); $l_{00} = 2a$ (б); $l_{00} = r_2 - a_0 - 0,003$ м (в)

При розміщенні екрану по центру п'єзокерамічної оболонки (рис. 2 а) радіальна симетрія побудови випромінювача зберігається, як і у випадку відсутності екрану. В цьому випадку двогорбість частотної залежності амплітуди випромінювача зберігається, але хід кривої частотної залежності змінюється.

По-перше, механічний резонанс самої п'єзокерамічної оболонки зростає, а сама резонансна область її значно (в 4-5 разів) звужується. Це обумовлено впливом імпедансу внутрішнього шару рідини, який на цих частотах має пружний характер.

По-друге, другий резонанс механічного поля випромінювача суттєво змінює свої чисельні значення і переміщується в область низьких частот. Фізичною причиною цього є те, що у випадку м'якості екрануючого циліндра пружні властивості рідини між оболонкою та екраном себе не проявляють. Зміни об'єму шару рідини в області відносно низьких частот здійснюються за рахунок переміщення цього шару як єдиного цілого. Завдяки цьому реакція цього шару рідини має масовий характер, а, відтак, друга власна частота випромінювача зменшується. Зауважимо, що вплив цього встановленого ефекту має суттєві значення (більш, ніж в 3 рази відносно випадку відсутності екрану).

Зміщення екрану від центру п'єзокерамічної оболонки (збільшення значення l_{00}) порушує радіальну симетрію побудови екранованого випромінювача. Аналіз графіків на рис. 2 б і в свідчить про те, що в механічному полі циліндричного п'єзокерамічного

перетворювача з порушеною радіальною симетрією, при збереженні при цьому радіальної симетрії збуджуючого перетворювач електричного поля, з'являється цілий спектр нових власних частот. Кількість цих нових резонансних частот та їх чисельні значення залежать від кількісних значень відстані l_{00} . При цьому має місце наступна якісна закономірність. При збільшенні величини l_{00} , тобто більшого порушення радіальної симетрії перетворювача, чисельні значення власних частот, в тому числі і власної частоти п'єзокерамічної оболонки, зміщуються в сторону менших значень.

Є кілька фізичних причин появи встановлених закономірностей поведінки механічних полів перетворювачів з внутрішніми екранами. До них відносяться:

- поява стоячих хвиль в зазорі між циліндричною оболонкою та циліндричним екраном, які є результатом взаємодії прямої хвилі, випромінюваної оболонкою, і відбитою екраном хвилі;

- поява в механічному полі перетворювача мод коливань, наступних за нульовою модою, у перетворювачів з порушеною радіальною симетрією побудови при збереженні такої симетрії їх електричного збудження.

Перша фізична причина пояснює умови появи нових власних частот механічного поля перетворювача в тих частотних областях, де хвильова ширина зазору між ділянкою поверхні п'єзокерамічної оболонки та екраном досягає значень, близьких 0,25. В цьому випадку імпеданс перетворювача практично повністю визначається хвильовими процесами, які мають місце на цих

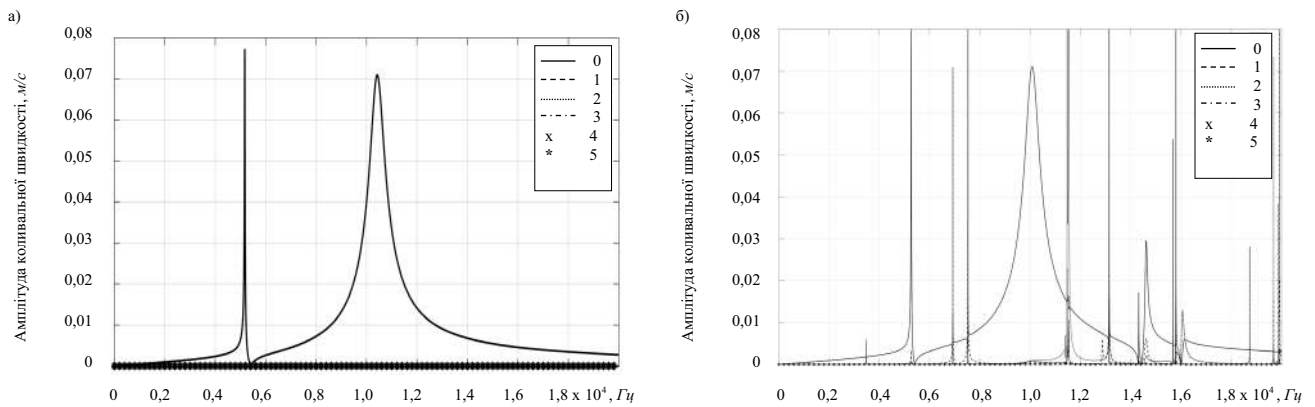


Рис. 3. Частотні залежності амплітуд коливної швидкості перетворювача при $a_0 = 0,2r_0$ (а); $l_{00} = 0$ (а); $l_{00} = 2a$ (б)

ділянках зазору. Зауважимо при цьому, що ці причини пов'язані лише з нульовою модою коливань перетворювача. Свідченням цього є графіки на рис. 3.

Вплив на механічні поля другої фізичної причини демонструють графіки на рис. 3.

Дійсно, аналіз складу мод коливань п'єзокерамічної оболонки екранованого перетворювача показує, що при збереженні радіальної симетрії його побудови (рис. 2 а і 3 а) в його оболонці збуджується лише нульова мода коливань. Порушення радіальної симетрії обумовлює появу наступних за нульовою модою коливань. При цьому має місце ряд закономірностей.

По-перше, кількість заново генерованих мод збільшується із збільшенням відстані l_{00} , що є характеристикою збільшення несиметричності конструкції перетворювача.

По-друге, при збільшенні величини l_{00} власні резонанси додаткових мод зміщуються в сторону низьких частот.

По-третє, при збільшенні величини l_{00} амплітуди коливальних швидкостей окремих мод стають порівняними або навіть суттєво перевищують амплітуди нульової моди не тільки на частотах власних резонансів цих мод, але і на власному резонансі нульової моди. По-четверте, резонансні смуги коливальних швидкостей додаткових мод коливань суттєво (в кілька десятків разів) менші власної резонансної смуги оболонки перетворювача.

Порівняння частотних залежностей амплітуд коливальних швидкостей екранованого перетворювача (рис. 2) і мод його коливань (рис. 3) свідчить про те, що багатомодовість екранованого перетворювача обумовлюється частотною поведінкою коливної швидкості як його нульової моди, так і заново генерованих мод, наступних за нульовою.

Дослідимо тепер кутові залежності коливної швидкості екранованого перетворювача. Практичний

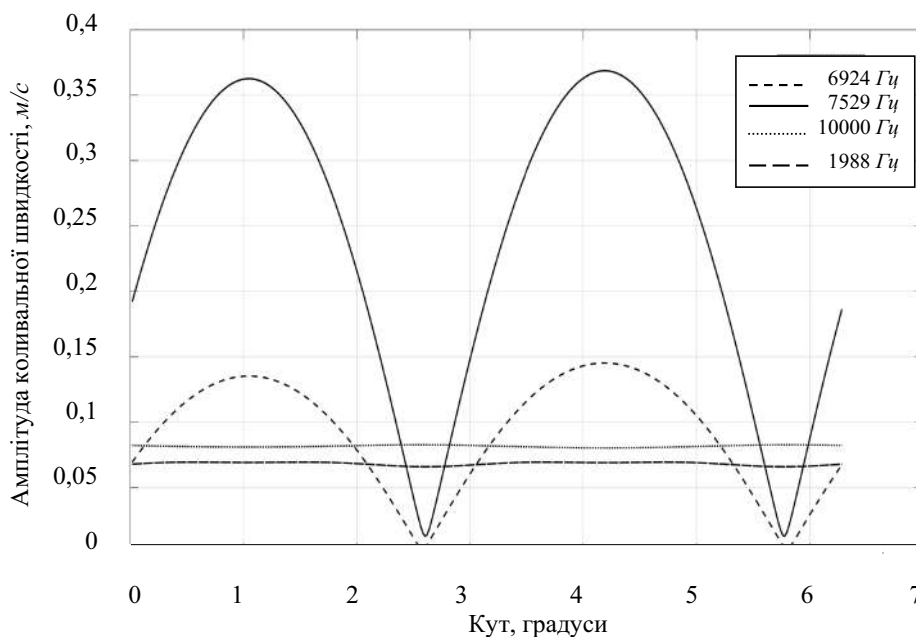


Рис. 4. Частотні залежності амплітуд коливної швидкості перетворювача при $l_{00} = r_2 - a_0 - 0,003 \text{ м}$ на різних власних резонансних частотах

інтерес представляють такі залежності на заново генерованих власних частотах такого перетворювача. Це обумовлено тим, що, як видно з графіків на рис. 4, амплітуди коливальної швидкості на цих частотах набувають великих значень.

Ці значення коливальної швидкості W можуть досягати або перевищувати гранично допустимі значення коливальної швидкості $w_{дон}$ для досліджуваного перетворювача, виходячи із допустимих механічних напружень в п'єзокерамічному матеріалі оболонки перетворювача з урахуванням відповідних коефіцієнтів запасу міцності [6]. Відомо, що такі перевищення $w_{дон}$ обумовлюють механічні руйнування п'єзокерамічної оболонки перетворювача.

Аналіз результатів розрахунків, наведений на рис. 4 для варіанту найбільшого порушення радіальної симетрії побудови екранованого перетворювача, свідчить про таке.

По-перше, максимальні амплітуди коливальних швидкостей, які перетворювач набуває в області низьких частот, в 2-6 разів перевищують амплітуду коливальної швидкості п'єзокерамічної оболонки на її власній частоті. І це при умові сталості збуджуючої електричної напруги. По-друге, саме на цих низьких частотах екранований перетворювач втрачає однорідність розподілу коливальної швидкості по своїй випромінюючій поверхні. Цей розподіл набуває характеру осциляцій і є найбільш загрозливим для механічної міцності випромінювачів.

Цікавим є те, що поява осциляцій на цих частотах обумовлена певними фізичними причинами. На частотах 6924 Гц і 7529 Гц збудження осцилюючої моди досягнуто за рахунок «захоплення» частини енергії, яка «закочується» в екранований перетворювач на нульовій моді коливань його п'єзоелектричної оболонки, наступними, заново генерованими формами коливань, зокрема першою модою.

ВИСНОВКИ

Наведені результати досліджень дозволяють зробити наступні висновки, які важливі не тільки для забезпечення механічної міцності випромінювачів, але і для підвищення енергетичної ефективності ГЛС, гідроакустичні антени яких створені на основі циліндричних перетворювачів з внутрішніми екранами.

По-перше, введення до складу циліндричних п'єзокерамічних випромінювачів несиметрично розміщених м'яких циліндричних акустичних екранів розширює можливості вибору та використання в режимі випромінювання не однієї, як було раніше, а декількох резонансних частот. Особливо цікавим в цьому плані являється встановлений в результаті досліджень факт появи в спектрі механічного поля екранованого випромінювача, при незмінності його розмірів, резонансних частот, в 2-5 разів менших від резонансної частоти циліндричних випромінювачів без внутрішніх екранів. Технологічна реалізація цих результатів дозволить значно підвищити енергетичну ефективність ГЛС.

По-друге, встановлено, що амплітуди резонансного випромінювання на заново генерованих частотах

механічних резонансів екранованих випромінювачів в 3-5 разів вищі, ніж амплітуди такого випромінювання на нульовій моді неекранованих випромінювачів, які є основним типом гідроакустичних перетворювачів в сучасних ГЛС. Природно, що ефективність ГЛС на основі екранованих випромінювачів буде вище, ніж існуючих ГЛС.

По-третє, в діапазоні низьких резонансних частот резонансні області випромінювачів з внутрішніми екранами є більш вузькими в порівнянні з неекранованими випромінювачами. Цю обставину необхідно враховувати при реалізації режимів випромінювання ГЛС з використанням коротких імпульсних сигналів.

В-четвертих, при роботі ГЛС в режимі випромінювання в області низькочастотних резонансів екранованих перетворювачів суттєво збільшується небезпека механічного руйнування перетворювачів гідроакустичних антен в зв'язку з різким збільшенням амплітуд їх коливальних швидкостей та появою можливості перевищення амплітудами коливальних швидкостей значень, допустимих з точки зору механічної міцності. Ця обставина повинна враховуватись при побудові генераторних пристроїв трактів випромінювання ГЛС.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Бальян Р. Х., Батаногов Э. В. Терминологический словарь-справочник по гидроакустике. Л.: Судостроение, 1989. 386 с.
2. Корякин Ю. А., Смирнов С. А., Яковлев Г. В. Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы. СПб.: Наука, 2005. 410 с.
3. Дерепя А. В., Лейко А. Г., Меленко Ю. Я. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т. 7. Комплексная система «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Проблемные аспекты системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с антеннами, размещенными в корпусе корабля: монография. Киев: Изд. дом Дмитрия Бураго, 2014. 424 с.
4. Дерепя А. В., Лейко А. Г., Меленко Ю. Я. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т. 8. Комплексная система «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Проблемные аспекты системы «гидроакустическая станция – надводный корабль» с антеннами переменной глубины: монография. Киев: Изд. дом Дмитрия Бураго, 2016. 400 с.
5. Лейко А. Г., Дрозденко А. И. Излучение максимальной акустической мощности системами гидроакустических преобразователей с окружной поляризацией. Микросистемы, электроника и акустика. Киев: НТУУ КПИ, 2018, т. 23, № 1. С. 58-65.
6. Конструювання електроакустичних приладів і систем для мультимедійних акустичних технологій / В. С. Дідковський та ін. Х.: ФПП Амелянчик, 2013. 390 с.
7. Богородский В. В. Подводные электроакустические преобразователи. Расчет и проектирование. Л.: Судостроение, 1983. 315 с.

8. Евтюгов А. П., Колесников А. Е., Корепин Е. А. Справочник по гидроакустике. Л. : Судостроение, 1988. 344 с.
9. Смаришев М. Д., Добровольский Ю. Ю. Справочник по расчету направленных свойств гидроакустических антенн. Л. : Судостроение, 1984. 304 с.
10. Aronov, B. S. (2006). Experimental methods for investigating the acoustical interaction between transducers, *J. Acoust. Soc. Am.* 119 (6), 3822–3830.
11. Aronov, B. S. (2003). Energy analysis of a piezoelectric body under nonuniform deformation, *J. Acoust. Soc. Am.* 113, 2638–2646.
12. Aronov, B. S. (2005). The energy method for analyzing the piezoelectric electroacoustic transducers, *J. Acoust. Soc. Am.* 117, 210–220.
13. Гринченко В. Т., Вовк И. В., Маципура В. Т. Волновые задачи акустики: монография. Киев: Интерсервис, 2013. 572 с.
14. Свойства цилиндрических гидроакустических преобразователей с внутренними податливыми экранами / А. В. Дерепя и др. // Озброєння та військова техніка. Киев: ЦНІИ ВВТ ВС України, 2018. Вып. 4(20). С. 40–46.
5. Lejko, A. G., and Drozdenko, A. I. (2018), «Izluchenie maksimal'noj akusticheskoj moshhnosti sistemami gidroakusticheskikh preobrazovatelej s okruzhnoj poljarizaciej» [Radiation of maximum acoustic power by hydroacoustic transducer systems with peripheral polarization]. *Mikrosystems, elektronics and acoustic.* K. T. 23, No 1. Pp. 58-65.
6. Didkovs'kyj, V. S., Poroshyn, S. M., Lejko, O. H., Lejko, N. O., and Drozdenko, O. I. (2013), «Konstruyuvannya elektroakustychnyx prykladiv i system dlya mul'tymedijnyx akustychnyx tehnolohij» [Designing of electroacoustic devices and systems for multimedia acoustic technologies]. Amelyanchyk, Xarkiv. 390 p.
7. Bogorodskoyi, V. V. (1983), «Podvodnye jelektroakusticheskie preobrazovateli. Raschet i proektirovanie: spravochnik» [Underwater electroacoustic transducers. Calculation and design]. Sudostroenie, Leningrad. 315 p.
8. Evtjutov, A. P., Kolesnikov, A. E. and Korepin, E. A. (1988), «Spravochnik po gidroakustike» [Handbook of hydroacoustics]. Sudostroenie, Leningrad. 344 p.
9. Smaryshev, M. D. and Dobrovolskiy, Ju. Ju. (1984), «Spravochnik po raschetu napravlennykh svoystv gidroakusticheskikh antenn» [Handbook for the calculation of directional properties of hydroacoustic antennas]. Sudostroenie, Leningrad. 304 p.
10. Aronov, B. S. (2006). Experimental methods for investigating the acoustical interaction between transducers, *J. Acoust. Soc. Am.* 119 (6), 3822–3830.
11. Aronov, B. S. (2003). Energy analysis of a piezoelectric body under nonuniform deformation, *J. Acoust. Soc. Am.* 113, 2638–2646.
12. Aronov, B. S. (2005). The energy method for analyzing the piezoelectric electroacoustic transducers, *J. Acoust. Soc. Am.* 117, 210–220.
13. Grinchenko, V. T., Vovk, I. V. and Macipura, V. T. (2013), «Volnovye zadachi akustiki» [Wave acoustics tasks]. Interservis, K. 572 p.
14. Derepa, A. V., etc. (2018), «Svoystva cilindricheskikh gidroakusticheskikh preobrazovatelej s vnutrennimi podatlivymi jekranami» [Properties of cylindrical sonar transducers with flexible internal screens]. Weapons and military equipment. K. No. 4(20). Pp. 40–46.

REFERENCES

1. Bal'jan, R. H. and Batanogov, Je. V. (1989), «Terminologicheskij slovar'-spravochnik po gidroakustike» [Technical dictionary handbook of hydroacoustics]. Sudostroenie, Leningrad, 386 p.
 2. Koryakyn, Yu. A., Smyrnov, S. A. and Yakovlev, H. V. (2005), «Korabelnaya gidroakusticheskaya tekhnika: sostoyaniye y aktualnyye problemy» [Ship sonar technology, condition and actual problems]. Nauka, St. Petersburg. 410 p.
 3. Derepa, A. V., Leyko, A. H. and Melenko, Yu. Ya. (2014), «Osnovy voenno-tekhnicheskikh yssledovaniy. Teoriya y prylozheniya. T. 7. Kompleksnaya sistema «hidroakusticheskoye vooruzheniye – nadvodnyy korabl». Problemnyye aspekty systemy «hidroakusticheskaya stantsiya – nadvodnyy korabl» s antennami, razmeshchennymi v korpuse korablya» [Fundamentals of military technical research. Theory and applications. T. 7. Integrated system «hydroacoustic armament - surface ship.» Problem aspects of the “hydroacoustic station - surface ship” system with antennas located in the ship hull]. Publ. Dmytryya Buraho, K. 424 p.
 4. Derepa, A. V., Leyko, A. H. and Melenko, Yu. Ya. (2016), «Osnovy voenno-tekhnicheskikh yssledovaniy. Teoriya y prylozheniya. T. 8. Kompleksnaya sistema «hidroakusticheskoye vooruzheniye – nadvodnyy korabl». Problemnyye aspekty systemy «hidroakusticheskaya stantsiya – nadvodnyy korabl» s antennami peremennoy hlubyny» [Fundamentals of military technical research. Theory and applications. V. 8. The integrated system “hydroacoustic armament - surface ship”. Problem aspects of the “hydroacoustic station - surface ship” system with variable depth antennas]. Publ. Dmytryya Buraho, K. 400 p.
- Відомості про авторів:**
Дерепа Анатолій Войткович
 доктор технічних наук
 старший науковий співробітник
 провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку морських озброєнь науково-дослідного управління розвитку морських озброєнь та техніки Військово-Морських Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
 м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>
 e-mail: derepaan@i.ua

Лейко Олександр Григорович

доктор технічних наук
професор

професор кафедри акустики та акустoeлектроніки
Національного технічного університету України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

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

e-mail: Alexander_leiko@ukr.net

Дрозденко Олександр Іванович

кандидат технічних наук
доцент

доцент кафедри акустики та акустoeлектроніки Національного
технічного університету України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»

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

e-mail: drozdenko@i.ua

Святненко Андрій Олегович

начальник науково-дослідного відділу

Державного підприємства «Київський науково-дослідний
інститут гідроапаратури»

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

e-mail: sviatnenkoa@gmail.com

Information about the authors:**Derepa Anatolii**

Doctor of Technical Sciences
Senior Research

Leading researcher of the Scientific Research Department
Navy Armament of the Scientific Research Management Navy
Armament and Equipment Research Directorate of the Central
Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment
of the Armed Forces of Ukraine.

Kyiv, Ukraine

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

e-mail: derepaan@i.ua

Leiko Oleksandr

Doctor of Technical Sciences
Professor

Professor of the Chair of Acoustics and Acoustoelectronics of
the National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv
polytechnic institute”

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

e-mail: Alexander_leiko@ukr.net

Drozdenko Oleksandr

Candidate of Technical Sciences
Senior Lecturer

Senior Lecturer of the Chair of Acoustics and Acoustoelectronics
of the National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky
Kyiv polytechnic institute”

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

e-mail: drozdenko@i.ua

Svyatnenko Andriy

Chief of Scientific Research Department

State Enterprise «Kyiv Scientific Research Institute of
Hydrodevices»,

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

e-mail: sviatnenkoa@gmail.com

Стаття надійшла до редколегії 03.06.2019 р.

Рецензент О. В. Коржик, д-р техн. наук, професор
(Національний технічний університет «Київський полі-
технічний інститут» імені Ігоря Сікорського, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0001-6793-1676>

Рецензент О. О. Расстригін, д-р техн. наук, професор
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

<https://orcid.org/0000-0002-1482-6111>

Рецензент В. В. Зубарєв, д-р техн. наук, професор
(Центральний науково-дослідний інститут озброєння
та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)
<https://orcid.org/0000-0002-4998-726X>

УДК 629.123

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3\(23\).117-122](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3(23).117-122)**А. В. КОСЯКОВСЬКИЙ,**

кандидат технічних наук

<https://orcid.org/0000-0002-4796-3299>

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

В. С. ДАВИДОВ, кандидат технічних наук, доцент<https://orcid.org/0000-0002-7417-2521>

(Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)

А. І. ОВЧІННИКОВА<https://orcid.org/0000-0003-4121-2336>

(Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)

Математична модель забезпечення безпеки плавання буксирних складів, що штовхаються, на річках і в прибережній морській зоні

У статті визначено підходи до створення математичної моделі забезпечення безпеки плавання буксирних складів, що штовхаються, на річках і в прибережній морській зоні шляхом визначення сукупності параметрів, що підлягають дослідженню, і встановленню алгоритмічної залежності вихідного ефекту системи від їх значень. В якості показників ефективності розглянуто основні параметри, що впливають на експлуатацію і безпеку плавання буксирних складів, що штовхаються. Шляхом багатокритеріальної оптимізації в якості основних обрано такі показники: бокове відхилення центру мас рухомого складу від заданого маршруту; відстань до підводних і надводних навігаційних орієнтирів (небезпек) або поворотної точки від місцезнаходження буксирних складів, що штовхаються, на траєкторії їх руху, яка визначена за допомогою додаткової опції електронно-картографічної навігаційно-інформаційної системи, що допускає використання рухомого координатного курсору в режимі високоточного кутотірно-дальномірного пристрою способом автоматичного захоплення їм різних навігаційних об'єктів; імовірність отримання повної і достовірної інформації про місцезнаходження буксирного складу, що штовхається, на траєкторії його руху; середній час кругового рейсу буксирного складу, що штовхається. При подальших дослідженнях запропоновано встановити головний показник – середній час кругового рейсу, який обраний в якості критерію ефективності, що необхідно мінімізувати, а інші показники перевести в розряд обмежень.

Ключові слова: буксирний склад, що штовхається, забезпечення безпеки плавання, річка і прибережна зона, алгоритмічна залежність, вихідний ефект моделі.

В статье определены подходы к созданию математической модели обеспечения безопасности плавания толкаемых буксирных составов, на реках и в прибрежной морской зоне путем определения совокупности параметров, подлежащих исследованию, и установлению алгоритмической зависимости выходного эффекта системы от их значений. В качестве показателей эффективности рассмотрены основные параметры, влияющие на эксплуатацию и безопасность плавания толкаемых буксирных составов. Путем многокритериальной оптимизации в качестве основных выбраны следующие показатели: боковое отклонение центра масс подвижного состава от заданного маршрута; расстояние до подводных и надводных навигационных ориентиров (опасностей) или поворотной точки от местонахождения толкаемых буксирных составов на траектории их движения, определяемое с помощью дополнительной опции электронно-картографической навигационно-ин-

формационной системы, допускающее использование подвижного координатного курсора в режиме высокоточного угломерно-дальномерного устройства способом автоматического захвата им различных навигационных объектов; вероятность получения полной и достоверной информации о местонахождении толкаемого буксирного состава на траектории его движения; среднее время кругового рейса толкаемого буксирного состава. При дальнейших исследованиях предлагается установить главный показатель – среднее время кругового рейса, выбранный в качестве критерия эффективности, который необходимо минимизировать, а другие показатели перевести в разряд ограничений.

Ключевые слова: толкаемый буксирный состав, обеспечение безопасности плавания, река и прибрежная зона, параметры, алгоритмическая зависимость, выходной эффект модели.

ВСТУП

Результати аналізу вантажоперевезень річковим транспортом України в прибережній зоні плавання і гирлах річок свідчать про те, що незважаючи на їх незначний обсяг, аварійність суден змішаного «річка-море» плавання та барже-буксирного флоту, в основному через їх фізичний та моральний знос, залишається досить високою. Високоточні диференціальні режими роботи глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) GPS і ГЛОНАСС не зробили істотного впливу на зниження аварійності суден і складів, пов'язаних з посадками на мілину і дотиками до ґрунту. Впровадження на річковому транспорті річкових інформаційних систем (PIC) і річкових електронно-картографічних навігаційно-інформаційних систем (INLAND ECDIS) також не вирішили повністю існуюче протиріччя між точністю знання свого місця на траєкторії руху і навігаційною аварійністю. Це підтверджує 25-річний досвід використання ECDIS на морських суднах. Основними причинами, що впливають на аварійність річкових суден та складів при плаванні по річках і в прибережних умовах, являються не похибки у визначенні місцезнаходження кормової частини складу, де, як правило, встановлені антени ГНСС, на траєкторії руху, а фактори, що зазначені нижче:

неточний облік інерційно-гальмівних характеристик і елементів поворотності традиційними штурманськими і лоцманськими методами, а також місцезнаходження полюса (центру) повороту в тій чи іншій ситуації;

низька точність знання місця розташування на траєкторії руху буксирного складу, що штовхається (БСШ), його носової частини, яка, з урахуванням довжини сучасних модульних БСШ, знаходиться на відстані до 300 м від краю корми і найчастіше схильна зіштовхуватись з підводними і надводними об'єктами;

відсутність на БСШ технічних засобів, які дозволяли б прогнозувати наперед їх місця розташування на траєкторії руху з урахуванням безперервної зміни відстаней до небезпечних об'єктів, в умовах мінливої ходової навігаційно-гідрографічної, гідрометеорологічної і гідрологічної обстановки.

Мета роботи – визначення наукових підходів до вибору показників ефективності експлуатації БСШ на річках і в прибережній морській зоні України та створення математичної моделі цієї системи.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Успішний розвиток економіки України вимагає прийняття негайних заходів щодо відродження водного транспорту країни. Державні програми: «Державна програма розвитку внутрішнього водного транспорту на період 2014-2020 рр.» [1] і «Державна цільова програма безпечної експлуатації внутрішніх водних шляхів та судноплавних шлюзів України на 2011-2020 рр.» [2] визначили стратегію розвитку водного транспорту та внутрішніх водних шляхів країни на відносно тривалий період. У зазначені програми увійшли такі заходи: розробка програми будівництва національного річкового флоту, участь у відродженні європейського річкового шляху Е-40, орієнтованого на транзитний потенціал Дніпра.

В Україні досі не реалізований величезний потенціал водного транспорту, його логістичні та економічні переваги в порівнянні з іншими видами транспорту. Так, перевезення тонни вантажу автотранспортом складає вартість в еквіваленті близько 11,5 \$, залізницею – 7,8 \$, водним транспортом – приблизно 4,5 \$ [3]. Всі європейські країни багаторазово випереджають Україну за показниками річкових вантажоперевезень. За даними 2014 року в Україні річковим транспортом перевезено 5 млн. т. вантажів, що становить 0,5% від загальноєвропейських річкових перевезень. За протяжністю внутрішніх водних шляхів, Україна займає 4-е місце в Європі. Через українську територію проходять акваторії трьох судноплавних річок, що входять до п'ятірки найбільших в Європі: це Дніпро, Дунай і Південний Буг, які використовуються лише на 0,5% в системі вантажоперевезень [4].

Основними особливостями експлуатації та управління морехідними якостями БСШ є:

- великі габарити складів, що займають широку смугу суднового ходу;

- значні похибки в обліку параметрів керованості і маневреності через неможливість проведення випробувань буксирних складів з метою їх визначення, через короткі часові терміни проведення транспортної операції і змінності об'єктів буксирування;

- постійна зміна параметрів суднового ходу: напрямку, ширини і глибини;

- недостатня точність визначення місця розташування складу щодо осі суднового ходу і поворотної точки при відсутності диференціального режиму ГНСС;

- мінливість рівня води щодо нуля глибин (НГ) при спуску води з водосховищ або сильних паводках, що призводить до зміни конфігурації берегової лінії, і як наслідок, похибок при використанні суднових РЛС;

- складності, і як наслідок, значні похибки в обліку морехідних характеристик: інерційно-гальмівних, поворотності, керованості через мінливості течій і знесення вітром в умовах відсутності технічних можливостей для визначення розташування носової частини складу на траєкторії руху;

- недостатня оперативність в доведенні інформації про зміни в обстановці і режиму плавання.

При проводці БСШ в складних навігаційних умовах, до яких відносяться річки, канали, рейди і акваторії портів, при виконанні маневрів швартування до причалу або судна, що знаходиться на рейді, найчастіше відстань до навігаційних небезпек, бровок каналів, причалів або судів вимірюється малими величинами в межах десятків або декількох метрів [5].

В цих умовах судноводіїв в першу чергу цікавить положення носа та корми складу щодо навігаційних небезпек, а також положення діаметральної площини судна на траєкторії його руху щодо осей каналів та фарватерів. При поворотах БСШ його рух на циркуляції являє собою смугу руху, ширина якої може досягати до сотні метрів, оскільки сучасні модульні склади досягають довжини до 285 м.

Наприклад, для БСШ довжиною 200 метрів ширина смуги руху на усталеній траєкторії руху на циркуляції становить близько 67 метрів. Неврахування цієї обставини при проводці складів по річках і в прибережній зоні, де плавання здійснюється в основному по фарватерах і каналах, веде до збільшення їх аварійності та є основним фактором їх аварійності.

Особливо актуальним вирішення цього завдання постає у зв'язку з переходом на перевезення вантажів БСШ великої тоннажності як найбільш рентабельних, які будуть становити більше десяти тисяч реєстрових тонн. Довжина сучасних БСШ, серії «Макс» може становити до 300 метрів, ширина на річці Дніпро в межах 18 метрів. Відповідно до існуючої архітектури будови суден, надбудова з ходовим містком і антенами ГНСС, РЛС і ЗАРП знаходиться на буксирних судах в кормовій частині. При визначенні місцеположення судна за допомогою ГНСС або РЛС з використанням електронних карт INLAND ECDIS на моніторі спостерігача обсервоване місце буксирного судна спостерігається відносно місця встановлення антени [6].

Положення носової частини складу судноводії зазвичай оцінюють на око або лоцманськими прийомами. Похибка оцінки відстані при цьому може становити до 25% від відстані до навігаційних небезпек і берегових споруд.

Комплексне використання ECDIS, приймачів ГНСС та антен, розташованих на краях великотоннажних морських суден та складів для контролю місця розташування носа і корми судна, щодо навігаційних небезпек і орієнтирів за допомогою рухомого координатного курсору розглядалося в роботах [7 - 9], ці пропозиції можна застосувати і для БСШ з INLAND ECDIS, що в значній мірі доповнить можливості РЛС і ЗАРП щодо контролю дистанції, збільшить точність її визначення за рахунок більш точного знання поточних географічних координат носа і корми БСШ по ГНСС, що працюють в спеціальних режимах. Запропонований спосіб може бути застосований при вирішенні таких високоточних завдань судноводіння, як:

- при проводці БСШ для визначення відстаней до навігаційних орієнтирів, реперних точок, підводних рифів, банок, затонулих об'єктів і напрямків на них, відносно носа і корми складу;

виведення БСШ в точку початку повороту і контролю місця розташування носа складу і корми буксира на циркуляції;

створення «штучних» створів за допомогою реперних точок при плаванні поблизу необладнаного узбережжя та річок;

забезпечення підходу БСШ до судна, що стоїть на рейді або біля причалу по траєкторії, що задається пеленгом зближення і контролю дистанції до причалу в процесі швартування складу.

БСШ являє собою складну технічну систему, що складається із зчленованих, як правило, жорсткою механічною зчипкою в єдине ціле буксирного судна та несамохідної баржі.

Для здійснення безпечною проведення в складних річкових умовах цієї системи, необхідна розробка математичної моделі [10], яка включає велику кількість підсистем і джерел різномірної інформації з безліччю різних параметрів, які після відповідної математичної обробки перетворюються в інформаційні дані і керуючі сигнали при її експлуатації. Створена модель забезпечення безпечної експлуатації БСШ покликана встановити алгоритмічну залежність вихідного ефекту пропонованої системи, що визначається цільовою функцією $F(T)$ та її показниками ефективності (α) від сукупності параметрів (Y) [11, 12].

$$Y \in Z = \{F(T), \alpha \in G\},$$

$$Y = Y(\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3, \bar{A}_4, \bar{A}_5, \bar{A}_6, \bar{A}_7, \bar{A}_8, \bar{A}_9, \bar{A}_{10}, \bar{A}_{11}),$$

де: \bar{A}_1 – основні техніко-експлуатаційні характеристики складу;

\bar{A}_2 – інерційно-гальмівні параметри складу;

\bar{A}_3 – параметри стійкості складу на курсі;

\bar{A}_4 – параметри повороткості складу;

\bar{A}_5 – параметри розташування носа і корми складу на траєкторії руху;

\bar{A}_6 – параметри розташування об'єктів в електронній базі ENLAND ECDIS і кінця координатного курсору;

\bar{A}_7 – параметри гідрологічної обстановки;

\bar{A}_8 – параметри гідрометеорологічних умов;

\bar{A}_9 – параметри основних суднових берегових засобів визначення місця розташування складу на траєкторії руху;

\bar{A}_{10} – параметри експлуатації PIC і ENLAND ECDIS;

\bar{A}_{11} – параметри рентабельності експлуатації складу.

До числа найбільш важливих показників ефективності системи, що утворюють сукупність і визначаються на моделі, відносяться чинники виразу:

$$G = \{B_C, D_{HO}, P_C, t_{KP}\}.$$

де: B_C – бокове відхилення центру мас складу від заданого маршруту, що є функцією часу, з урахуванням його габаритів, маневрених характеристик, характеристик керованості і точності методів позиціонування складу на траєкторії руху;

D_{HO} – відстань до підводних і надводних навігаційних орієнтирів (небезпек) або поворотної точки від носа

і корми БСШ на траєкторії його руху, яке визначається за допомогою електронного курсору з точністю, яка відповідає точності масштабу електронної карти ENLAND ECDIS і спеціальних режимів роботи ГНСС;

P_C – імовірність отримання повної і достовірної інформації про місце розташування БСШ на траєкторії руху, що надходить від суднових і зовнішніх джерел навігаційної інформації;

T_{KP} – середній час кругового рейсу БСШ.

Фізичне значення параметрів $\bar{A}_1 - \bar{A}_{11}$ наступне.

$$\bar{A}_1 = F(L_{max}, B_{max}, D_{пор}, DW, W_{зерн}, V_{max}, S_{max}, t_{кр}),$$

де: L_{max} – довжина рухомого буксирного складу;

B_{max} – ширина рухомого буксирного складу;

$D_{пор}$ – вантажопідйомність порожнього складу;

DW – дедвейт складу;

$W_{зерн}$ – зернова вантажомісткість складу;

V_{max} – максимальна швидкість складу;

S_{max} – дальність плавання;

$t_{кр}$ – тривалість кругового рейсу.

$$\bar{A}_2 = F(S_{пр}, t_{пр}, S_{ш}, t_{ш}, S_{ар}, t_{ар}, S_{пш}, t_{пш}),$$

де: $S_{пр}$ – відстань, яку проходить склад при розгоні;

$T_{пр}$ – час розгону складу;

$S_{ш}$ – відстань, яку проходить склад при пригальмуванні;

$t_{ш}$ – час пригальмування складу;

$S_{ар}$ – відстань, яку проходить склад при активному гальмуванні;

$t_{ар}$ – час активного гальмування складу;

$S_{пш}$ – відстань, яку проходить склад при пасивному гальмуванні;

$t_{пш}$ – час пасивного гальмування складу.

$$\bar{A}_3 = F(T_\delta, Q, \pm \omega_o, \pm \delta_{po}, t_o(\delta), \theta_o(\delta), X_p),$$

де: T_δ – постійна часу затримки повороту складу;

Q – критерій стійкості складу на курсі;

$\pm \omega_o, \pm \delta_{po}$ – зона нестійкості складу на траєкторії руху;

$t_o(\delta), \theta_o(\delta)$ – характеристики отримання повороту складу;

X_p – положення полюса повороту складу відносно центру мас.

$$\bar{A}_4 = F(l_1(\delta), l_2(\delta), l_3(\delta), D_T(\delta), D_V(\delta), T_\mu(V_H, \delta) \Delta R),$$

де: $l_1(\delta)$ – висув складу на циркуляції;

$l_2(\delta)$ – зміщення складу на циркуляції;

$l_3(\delta)$ – зворотне зміщення складу на циркуляції;

$D_T(\delta)$ – тактичний діаметр циркуляції складу;

$D_V(\delta)$ – діаметр усталеної циркуляції складу;

$T_\mu(V_H, \delta)$ – період циркуляції складу;

ΔR – ширина смуги руху складу на циркуляції.

$$\bar{A}_5 = F(B_{cx}, B_C, T_{пр}, \varphi_{нс}, \lambda_{нс}, \varphi_{кб}, \lambda_{кб}, M_o),$$

де: B_{cx} – ширина суднового ходу;

B_c – бічне відхилення центру мас БСШ від заданого маршруту на прямолінійній ділянці траєкторії руху;

$T_{пр}$ – прохідна осадка складу;

$\varphi_{нс}$ – географічна широта місця розташування носа складу;

$\lambda_{нс}$ – географічна довгота місця розташування носа складу;

$\varphi_{кб}$ – географічна широта місця розташування корми буксира;

$\lambda_{кб}$ – географічна довгота місця розташування корми буксира;

M_o – середньоквадратична похибка визначення місцеположення носа складу і корми буксира на траєкторії руху.

$$\bar{A}_6 = F(\varphi_{кк}, \lambda_{кк}, \varphi_{но}, \lambda_{но}, \Pi_{но}, D_{но}, M_{кк}),$$

де: $\varphi_{кк}$ – широта кінця координатного курсору;

$\lambda_{кк}$ – довгота кінця координатного курсору;

$\varphi_{но}$ – широта навігаційних орієнтирів в електронній базі ENLAND ECDIS;

$\lambda_{но}$ – довгота навігаційних орієнтирів в електронній базі ENLAND ECDIS;

$\Pi_{но}$ – істинний пеленг з носа (корми) складу на навігаційний орієнтир;

$D_{но}$ – відстань від носа (корми) складу до навігаційного орієнтира;

$M_{кк}$ – середньоквадратична похибка вимірювання відстаней за допомогою координатного курсору.

$$\bar{A}_7 = F(H_T, H_{min}, \Delta h_{cp}, K_T, V_T, \beta_T),$$

де: H_T – критерій гарантованої глибини плавання;

H_{min} – мінімально допустима глибина в районі плавання;

Δh_{cp} – падіння рівня води в річці при скиданні;

K_T – напрямок течії;

V_T – швидкість течії;

β_T – кут зносу при течії.

$$\bar{A}_8 = F(q_w, W, \alpha, h_{вх}, \tau_{вх}, l_{вх}, D_e, P_{нгму}),$$

де: q_w – курсовий кут удаваного вітру;

W – швидкість удаваного вітру;

α – кут дрейфу складу від вітру;

$h_{вх}$ – висота вітрової хвилі;

$\tau_{вх}$ – період вітрової хвилі;

$l_{вх}$ – довжина вітрової хвилі;

D_e – географічна дальність видимого горизонту;

$P_{нгму}$ – ймовірність несприятливих гідрометеорологічних умов.

$$\bar{A}_9 = F(Q_{рл}, Q_{гк}, Q_{ГНСС}, Q_{БРЛ}, Q_{лд}, P_{тр}),$$

де: $Q_{рл}$ – експлуатаційні характеристики суднових радіолокаторів;

$Q_{гк}$ – експлуатаційні характеристики суднових курсоказівників;

$Q_{ГНСС}$ – експлуатаційні характеристики ГНСС;

$Q_{БРЛ}$ – експлуатаційні характеристики берегових радіолокаторів;

$Q_{лд}$ – експлуатаційні характеристики лазерних далекомірів;

$P_{тр}$ – ймовірність отримання повної і достовірної інформації про місце розташування БСШ на траєкторії руху, що надходить від суднових і зовнішніх джерел навігаційної інформації.

$$\bar{A}_{10} = (Q_{РІС}, Q_{ЕКНІС}),$$

де: $Q_{РІС}$ – експлуатаційні характеристики річкових інформаційних систем;

$Q_{ЕКНІС}$ – експлуатаційні характеристики річкових електронно-картографічних навігаційно-інформаційних систем.

$$\bar{A}_{11} = (C_{фр}, P_e, R_{ТС}),$$

де: $C_{фр}$ – фрахтова ставка транспортування 1 тонни вантажу;

P_e – експлуатаційні витрати на транспортування вантажу на рейд при повному використанні дедвейту типового складу;

$R_{ТС}$ – рентабельність роботи типового складу на один круговий рейс.

Основною вимогою, що висувається до даної транспортної системи з вантажних барж і буксира-штовхача, є досягнення всіма показниками ефективності своїх найкращих значень. При цьому, в загальному випадку повинні бути виконані наступні умови:

$$t_{кр} \rightarrow \min, B_c \rightarrow \min, D_{но} \rightarrow \max, P_c \rightarrow \max.$$

З вищевикладеного стає очевидним, що досягнення поставленої мети – підвищення ефективності експлуатації БСШ на річках і в прибережній морській зоні України – досягається декількома показниками, тобто виникає задача багатокритеріальної оптимізації.

На практиці досить широко застосовується підхід до побудови критерію [11, 12], при якому від декількох показників переходять до однієї багатоцільової функції $F(T)$ цих показників – так зване згортання показників. В подальшому розвитку даної теми пропонується виділення серед показників одного головного і перехід інших в розряд обмежень.

При заданих параметрах $\bar{A}_1 - \bar{A}_{11}$ необхідно мінімізувати середній час кругового рейсу буксирного складу, що штовхається, за таким критерієм:

$$J = t_{кр} \rightarrow \min.$$

При заданих обмеженнях:

$$B_c \leq B_{c3ад}, D_{но} \geq D_{но3ад}, P_c \geq P_{c3ад};$$

$$\bar{A}_5 = (B_{СХ}, B_{ТС}, T_{пр}, \varphi_{НС}, \lambda_{НС}, \varphi_{К}, \lambda_{К}, M_o);$$

$$\bar{A}_6 = (\varphi_{кк}, \lambda_{кк}, \varphi_{но}, \Pi_{но}, D_{но}, M_{кк});$$

$$\bar{A}_7 = (H_T, H_{\min}, \Delta h_{\text{ср}}, K_T, K_T, V_T, \beta_T);$$

$$\bar{A}_8 = (q_w, W, \alpha, h_B, \tau_B, l_B, D_e, P_{\text{НГМУ}}).$$

ВИСНОВКИ

На підставі запропонованого підходу до вибору показників ефективності експлуатації штовхаємих буксирних складів на річках і в прибережній морській зоні України стає можливим:

1. Врахування значної кількості різнорідних показників, які прямо або побічно впливають на ефективність експлуатації БСШ на річках і в прибережній морській зоні.

2. Розроблення математичної моделі для забезпечення безпеки плавання при експлуатації БСШ, що встановлює алгоритмічну залежність між її вихідним ефектом і сукупністю пропонувананих для дослідження параметрів.

3. На підставі аналізу можливостей досліджуваної транспортної системи, що складається з барж і буксира-штовхача, розробити способи, алгоритми та практичні рекомендації щодо поліпшення критеріїв її роботи.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Проект «Державна Програма розвитку внутрішнього водного транспорту України на період 2014-2020 рр.» [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.mtv.gov.ua/uk/alias_50/33386.html.
2. Проект концепції Державної цільової програми безпечної експлуатації внутрішніх водних шляхів та судноплавних шлюзів України на 2011-2020 рр. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://transport-journal.com/komentarii-obzori/resursnyj-potentsyal>.
3. ІАЦ BlackSeeTrans. Матеріали 2016 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: portsukraine.com/node/8/.
4. White Paper on Efficient and Sustainable Inland Water Transport in Europe // United nations economic commission for Europe. – New York and Geneva, 2011. 56 p.
5. Егоров А. Г. Определение главных размерений барже-буксирного состава смешанного плавания «Днепро-Макс» класса. Одесса : Вестн. ОНМУ, 2013. Вып. 39. С. 37-61.
6. Recommendation on electronic chart display and information system for inland navigation (Inland ECDIS) // United Nations. – New York and Geneva, 2011. – 268 p.
7. Давидов В. С., Овчинникова А. І. Підвищення безпеки судноводіння великогабаритних судів і складів в прибережній зоні плавання і гирлах річок шляхом використання координатного курсору ЕКНІС в режимі високоточного кутомірного-далекомірного пристрою. Херсон: Науковий вісн. ХДМА, 2018. №1 (18). С. 4-9.

8. Давидов В. С., Демічев В. В., Кожухаренко Р. В., Овчинникова А. І. Підвищення безпеки експлуатації великотоннажних суден шляхом оптимізації використання ЕКНІС. Водний транспорт. Київ: КДАВТ, 2016. №1 (24). С. 20 – 24.
9. Богом'я В. І., Давидов В. С., Кожухаренко Р. В., Демічев В. В. Спосіб контролю місця розташування великотоннажних морських суден на траєкторії руху шляхом використання системи приймачів ГНСС пов'язаних з ЕКНІС // Науковій твір. Свідомство про реєстрацію авторського права на твір від 06.07.2015, 60486.
10. Stewart, W. J. Probability, Markov Chains, Queues, and Simulation: The Mathematical Basis of Performance Modeling. – Princeton: Princeton Univ. Press, 2009. 546 p.
11. Сиразетдинов Т. К. Методы решения многокритериальных задач синтеза технических систем. М.: Машиностроение, 1988. 158 с.
12. Сергиенко И. В. Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации. Київ: Наукова думка, 1988. 427 с.

REFERENCES

1. Project «Derzhavna Prohrama rozvytku vnutrishn'oho vodnoho transportu Ukrainy na period 2014-2020 rr.» [State Program for the Development of Inland Water Transport of Ukraine for the period 2014-2020] available at: www.mtv.gov.ua/uk/alias_50/33386.html.
2. Proekt kontseptsiyi Derzhavnoyi tsil'ovoyi prohramy bezpechnoyi ekspluatatsiyi vnutrishnikh vodnykh shlyakhiv ta sudnoplavnykh shlyuziv Ukrainy na 2011-2020 rr. [Concept of the State Target Program for the Safe Operation of Inland Waterways and Navigation Gateways of Ukraine for 2011-2020] available at: www.transport-journal.com/komentarii-obzori/resursnyj-potentsyal.
3. IACz BlackSeeTrans. Materials 2016, available at: www.portsukraine.com/node/8/.
4. White Paper on Efficient and Sustainable Inland Water Transport in Europe // United nations economic commission for Europe. New York and Geneva, 2011. 56 p.
5. Egorov, A. G. (2013), «Opredelenie glavnyih razmereniy barzhe-buksirnogo sostava smeshannogo plavanya «Dnepro-Maks» klassa [Determination of the main dimensions of the barge-tug structure of the Dnepro-Max mixed swimming class]. Odessa: Vestn. ONMU, 2013. Vol. 39. pp. 37-61.
6. Recommendation on electronic chart display and information system for inland navigation (Inland ECDIS) // United Nations. New York and Geneva, 2011. 268 p.
7. Davydov, V. S. and Ovchinnikova, A. I. (2018), «Pidvyshchennya bezpeky sudnovodinnya velykohabarytnykh sudiv i skladiv v pryberezhniy zoni plavannya i hyrlakh richok shlyakhom vykorystannya koordynatnoho kursoru EKNIS v rezhymi vysokotochnoho

- kutomirnoho-dalekomirnoho prystroyu» [Enhancement of the safety of navigation of large-sized vessels and warehouses in the coastal zone of navigation and estuaries of rivers using the coordinate cursor of ECNIS in the mode of high-precision gauge-range-finding device]. Kherson: Scientific her. CDMA, No. 1 (18). Pp. 4-9.
8. Davydov, V. S., Demichyev, V. V., Kozhukharenko, R. V. and Ovchinnikova, A. I. (2016). «Pidvyshchennya bezpeky ekspluatatsiyi velykotonazhnykh suden shlyakhom optymizatsiyi vykorystannya EKNIS» [Enhancing the safety of the operation of large-tonnage vessels by optimizing the use of ECNIS], Water transport. K.: KDAVT, 2016. No. 1 (24). Pp. 20 - 24.
 9. Bogomya, V. I., Davydov, V. S., Kozhuharenko, R. V. and Demichev, V. V. «Sposib kontrolyu mistysya roz-tashuvannya velykotonazhnykh mors'kykh suden na trayektoriyi rukhu shlyakhom vykorystannya systemy pryumachiv HNSS pov'yazanykh z EKNIS» [Method of monitoring the location of large-scale marine vessels on the trajectory of motion using the system of receivers of GNSS related to ECNIS] Scientific work. Certificate of registration of copyright in a work dated 06.07.2015, 60486.
 10. Stewart, W. J. Probability, Markov Chains, Queues, and Simulation: The Mathematical Basis of Performance Modeling. – Princeton: Princeton Univ. Press, 2009. 546 p.
 11. Sirazetdinov, T. K. (1988). «Metody resheniya mnogokriterial'nykh zadach sinteza tekhnicheskikh sistem» [Methods for solving multicriteria problems of technical systems synthesis]. Mashinostroenie, M., 1988. 158 p.
 12. Sergiyenko, I. V. (1988). «Matematicheskiye modeli i metody resheniya zadach diskretnoy optimizatsii» [Mathematical models and methods for solving discrete optimization problems]. Naukova Dumka, K., 427 p.

Відомості про авторів:**Косяковський Андрій Валерійович**

кандидат технічних наук

начальник науково-дослідного управління розвитку морських озброєнь та техніки Військово-Морських Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України

м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-4796-3299>

e-mail: andrey77kos@gmail.com

Давидов Володимир Семенович

кандидат технічних наук

доцент

професор кафедри судноводіння та управління рухом судна Державного університету інфраструктури та технологій м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-7417-2521>

e-mail: vladimir.s.davydov@gmail.com

Овчиннікова Анастасія Ігорівна

аспірант кафедри судноводіння та управління рухом судна Державного університету інфраструктури та технологій м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-4121-2336>

e-mail: nastyonask92@gmail.com

Information about the authors:**Andriy Kosiakovskiy**

Candidate of Technical Sciences

Chief of the Directorate for Scientific Research of Armament and Military Equipment of the Navy of Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine,

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-4796-3299>

e-mail: andrey77kos@gmail.com

Volodimir Davydov

Candidate of Technical Sciences

Associate Professor

Professor at the Department of navigation and ship management of the State University of Infrastructure and Technologies Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-7417-2521>

e-mail: vladimir.s.davydov@gmail.com

Anastasya Ovchinnikova

Doctoral Student at the State University of Infrastructure and Technologies

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-4121-2336>

e-mail: nastyonask92@gmail.com

Стаття надійшла до редколегії 03.06.2019 р.

Рецензент А. В. Дерпа, д-р техн. наук

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

<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>**Рецензент С. В. Лапицький, д-р техн. наук, професор**

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

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

Нова система досліджень і розробок сухопутних військ США

Потреба технологічного забезпечення модернізації сухопутних військ США призвела до радикального перегляду у 2018 – 2019 роках існуючої у цьому виді військ системи досліджень і розробок (рис. 1).

Ключовим елементом нової її структури стало сформоване командування сухопутних військ Army Futures Command (AFC) (рис. 2).

Його штаб-квартира розташована у м. Остін (штат Техас), на базі кампуса Університету штату Техас, що зроблено для сприяння встановленню тісних зв'язків з академічною наукою, промисловістю та інноваційним приватним сектором. Повних операційних спроможностей командування має набути до вересня 2019 р. Командуючий AFC (генерал-лейтенант John M. Murray) підпорядковується безпосередньо секретарю та начальнику штабу сухопутних військ.

В рамках AFC функціонують 8 багатфункціональних команд (Cross-Functional Teams, CFT), що займаються розробкою вимог, отриманих шляхом експериментів та технічних демонстрацій, для низки пріоритетних напрямів розвитку спроможностей:

- високоточне вогневе ураження на великій відстані;
- бойові машини наступного покоління;
- майбутні вертольоти;
- мережеве управління, командування, зв'язок і розвідка;
- гарантоване позиціонування, навігація та часова синхронізація;

протиповітряна і протиракетна оборона;
підвищені летальні спроможності солдат;
синтетичне навчальне середовище.

Крім того, до складу AFC увійшли трансформовані структурні елементи TRADOC (United States Army Training and Doctrine Command): Army Capabilities Integration Center, TRADOC Analysis Center, директори з розробки і інтеграції спроможностей (Capability Development & Integration Directorates, CDID) та асоційовані з ними польові лабораторії відповідних центрів передового досвіду (CoE) (менеджери спроможностей (TRADOC capability managers, TCM) лишаються у складі TRADOC). Також до AFC були передані від Army Materiel Command (AMC) колишні структури Army Material Systems Analysis Activity та Research, Development, & Engineering Command. Зазначені структурні елементи після вилучення зі складу TRADOC та AMC зосередяться на трьох ключових завданнях:

Futures & Concepts – ідентифікація та пріоритизація спроможностей, які необхідні, та відповідних можливостей з урахуванням загроз;

Combat Development – концептуалізація і розробка рішень для ідентифікованих потреб і можливостей, пошук балансу між поточним станом технологій і вимогами до фінансування підрядників;

Combat Systems – удосконалення, розробка і виготовлення на основі сучасних технічних рішень технічних демонстраторів, прототипів, проведення експериментів,

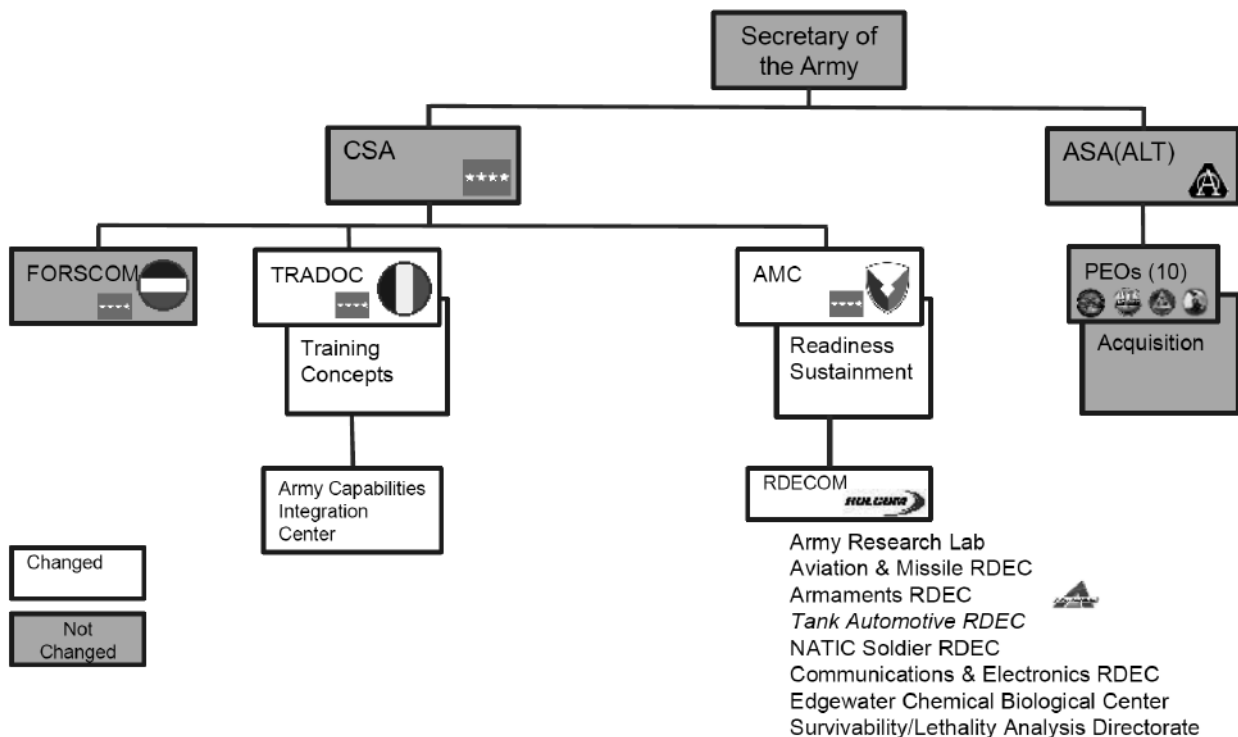


Рис. 1. Структура сухопутних військ США до реорганізації

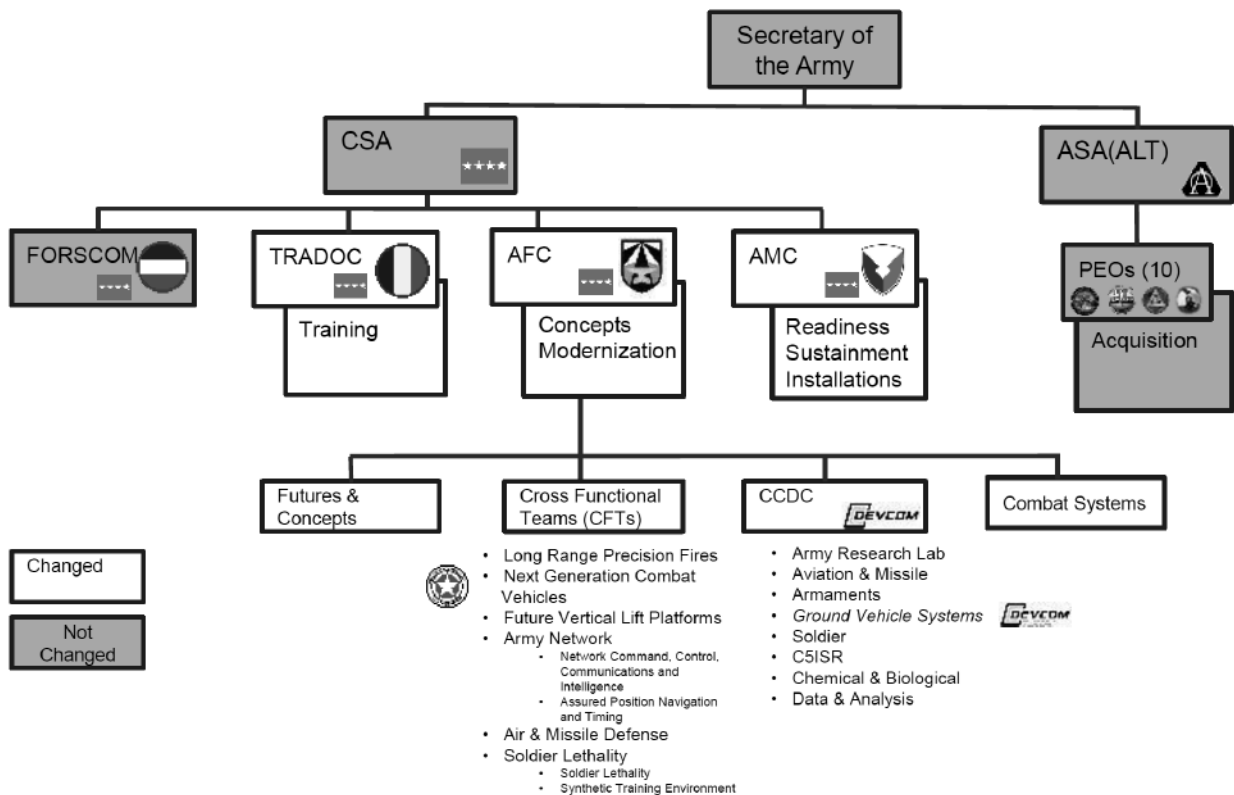


Рис. 2. Структура сухопутних військ США після створення AFC

забезпечення переходу до програм AMC з постачання та виробництва.

На думку фахівців США, нове командування AFC не буде дублювати функції DARPA, оскільки DARPA займається усіма видами збройних сил, а AFC – лише сухопутними військами. Тому можливо сказати, що за своїми функціями і завданнями AFC – це своєрідна «ARPA» (від слова «Арму»).

Після підпорядкування RDECOM новому командуванню сухопутних військ Army Futures Command (AFC), наступним кроком стала реорганізація RDECOM в CCDC (United States Army Combat Capabilities Development Command) - Командування сухопутних військ США з розвитку бойових спроможностей.

Формування CCDC відбулося у лютому 2019 р. До складу CCDC, крім лабораторії CCDC Army Research Laboratory (ARL), входять ще 7 центрів. Зазначені центри CCDC отримали нові найменування (рис. 2):

- CCDC Armaments Center (U.S. Army Combat Capabilities Development Command Armaments Center, раніше відомий як **ARDEC**);
- CCDC Aviation & Missile Center (U.S. Army Combat Capabilities Development Command Aviation & Missile Center, раніше **AMRDEC**);
- CCDC Chemical Biological Center (колишній **ECBC**);
- CCDC C5ISR Center (U.S. Army Combat Capabilities Development Command C5ISR (Command, Control, Computers, Communications, Cyber, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance, раніше **CERDEC**);
- CCDC Soldier Center (колишній **NSRDEC**);

- CCDC Ground Vehicle Systems Center (U.S. Army Combat Capabilities Development Command Ground Vehicle Systems Center, колишній **TARDEC**);
- CCDC Data & Analysis Center.

Крім того, CCDC має три регіональні представництва CCDC-Americas, CCDC-Atlantic, CCDC-Pacific, які призначені для вивчення можливостей міжнародної співпраці у наукових дослідженнях і розробці технологій та спроможностей, які потенційно відкриють прогалини потенціалу армії США.

Фахівці CCDC активно залучаються до участі у роботі міжфункціональних команд (CFT). Наприклад, CCDC Ground Vehicle Systems Center (раніше TARDEC) тісно співпрацює з CFT бойових машин нового покоління (NGCV), що спрямовує зусилля на модернізацію та оновлення парку бойових машин. В якості основних їх категорій розглядаються опціонально пілотована бойова машина, роботизовані бойові машини (Robotic Combat Vehicles, RCV), броньовані багатоцільові машини, легкий танк (Mobile Protected Firepower). Фахівцями CCDC відпрацьовані ключові архітектури, на основі яких будуть суттєво розширені спроможності NGCV. Подальшим важливим завданням є розробка і демонстрація модульної масштабованої архітектури електрифікації, що дозволяє здійснити перехід від дизельного гібрида до паливних елементів та повністю електричних бойових машин. Не менш амбіційною є програма оптимізації чисельності екіпажу з застосуванням технологій доповнення його спроможностей (Crew Optimization & Augmentation Technologies, COAT). При цьому важлива увага приділяється комбінації пілотованих та

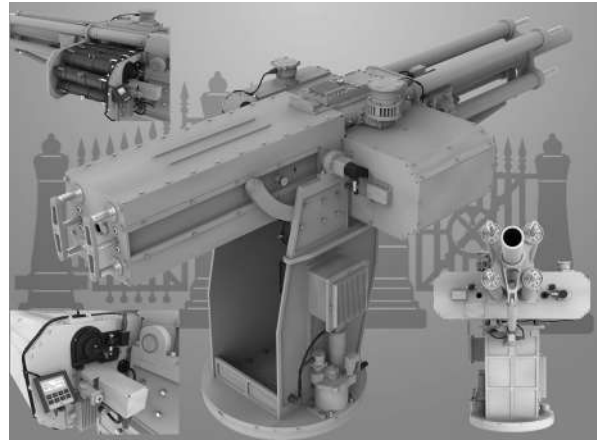


Рис. 3. Комплекс ADIM (фото з Інтернет та CD-диску ARDEC)

безпілотових платформ в одній команді (Manned/Unmanned Team), для чого спільно з ARL створено експериментальну лабораторію (MUM-T Experimentation Laboratory, MEL). Крім того, ведуться роботи з впровадження технології доповненої реальності.

У сфері роботизованих платформ головний акцент робиться на використанні векторної архітектури AGVRA, що спирається на поєднання операційної системи ROS-M та профілю взаємосумісності IOP. При цьому слід розрізняти клас малої робототехніки (Small Robotics), що застосовується у міському середовищі та у підземеллях, а також роботизовані бойові машини (RCV), серед яких фахівці CCDC виділяють три підкласи (максимальні габарити обумовлені способом авіаційного транспортування):

легкі RCV(L) - вага до 10 т, максимальні габарити 224x88x94» (довжина-ширина-висота, дюйми), транспортування вертольотом;

середні RCV(M) - 10 - 20 т, 230x107x94», перевезення одного зразка RCV(M) на C-130;

важкі RCV(H) - 20 - 30 т, 350x144x142», транспортування двох RCV(H) на C-17.

Спорідненим до бойової робототехніки напрямом є застосування автономних систем у логістиці, інтеграція у конвої безпілотових платформ та опціонально пілотованих машин.

За напрямом підвищення захищеності наземних транспортних засобів відпрацьовується модульна активна система захисту (MAPS) з тандемним застосуванням активного, реактивного та пасивного захистів і застосуванням на рівні машини концепції поєднання мережі сенсорів з мережею бортових засобів ураження (ефекторів) через внутрішньомашинну систему C2.

CCDC Armaments Center (розташований в Арсеналі Пікатінні) спрямовує свою діяльність, в першу чергу, на продовження досліджень та розробок, раніше започаткованих в ARDEC.

Зокрема, на основі дослідного зразка **автоматичного мінометного комплексу ADIM** (Automated Direct-Indirect fire Mortar), призначеного для ведення вогню прямим наведенням або з навісною траєкторією стрільби мінами калібру 81 мм, відпрацьовується конструкція автоматичного міномету для майбутніх безпілотових платформ.

У поточній версії відповідний мобільний зразок ADIM розташований на шасі автомобіля HMMWV (рис. 3). Згідно з наведеними представниками CCDC Armaments Center даними, мобільний комплекс ADIM дозволяє вести вогонь на відстанях 300 – 6112 м з кутами наведення стволу у вертикальній площині від -3 до +85 град. Максимальна швидкострільність становить 30 мін/хв, однак реально для більш точного ведення



Рис. 4. Extended Range Cannon Artillery (ECRA) (фото з Інтернет)



Рис. 5. Гаубиця M777A2 як прототип M777ER (фото автора)

вогню вона зменшується до 4 – 5 с на постріл з метою демпфування коливань стволу.

При цьому готовність до відкриття вогню з моменту отримання запиту на нього становить 7 с. Ємність магазину дозволяє розмістити 20 мін M821A2 HE. Зарядження магазину здійснюється без його демонтажу, через спеціальний отвір, по одній міні, в ручному режимі. Живлення міномету забезпечується від бортових акумуляторних батарей HMMWV напругою 24 В. Комплекс має вбудований комп'ютер, який дистанційно отримує команди наведення та стрільби з бортового комп'ютеру управління вогнем (Automated Fire Control System – Mortar (AFCS-M)), що функціонує на базі операційної системи Windows (розташований у кабіні HMMWV).

Суттєвих результатів досягнуто у створенні дослідних зразків **155-мм самохідної гаубиці, розробленої в рамках програми Extended Range Cannon Artillery (ECRA)** (рис. 4).

У серпні 2018 р. зазначена гаубиця на посиленому заряді дозволила досягти дальності стрільби 72 км. На основі удосконалених боєприпасів та зарядів планується збільшити цей показник до 100 км і більше. Не зважаючи на габарити гаубиці, особливо довжину стволу 9 м, передбачається її транспортування авіаційними та морськими засобами. Постачання у війська планується у 2023 р. Серед проблемних питань, що потребують вирішення, слід вказати необхідність зниження маси, для чого докладаються значні зусилля, оскільки за основу було взято застосування шасі від гаубиці Paladin

M109A7. Слід звернути увагу на відсутність автоматичного зарядження. У наявних зразках зарядження боєприпасів здійснюється у ручному режимі, однак після остаточного визначення необхідного типу боєприпасів будуть проведені роботи щодо максимальної автоматизації відповідного процесу. До речі, розробка третьої, більш досконалої модифікації гаубиці вже почалася.

Для збільшення дальності стрільби проведена часткова **модернізація 155-мм гаубиці M777A2** (рис. 5). На новому боєприпасі XM1113 (рис. 6) та посиленому заряді XM654 було досягнуто дальність стрільби 62 км замість штатної дальності 28 км.

Удосконалена версія M777ER зберегла у своєму складі РЛС виміру початкової швидкості снаряду (квадратна антена світлого кольору на рис. 5), радіосистему прийому команд наведення і програмування боєприпасів (вібраторна антена на лівій опорі на рис. 5) та отримала оновлене програмне забезпечення для бортового пульта управління вогнем, зокрема з метою програмування снаряду «Екскалібур».

Крім боєприпасів XM1113 та «Екскалібур» для M777ER можливо застосовувати нечутливий боєприпас XM1128. Він, аналогічно XM1113, має у донній частині ракетний заряд, однак значно меншої довжини, що дозволило збільшити об'єм основного спорядження порівняно з XM1113 майже у 2 рази.

Для підвищення точності наведення на таких відстанях боєприпаси XM1113 та XM1128 оснащуються пристроєм прецизійного наведення PGK (Precision

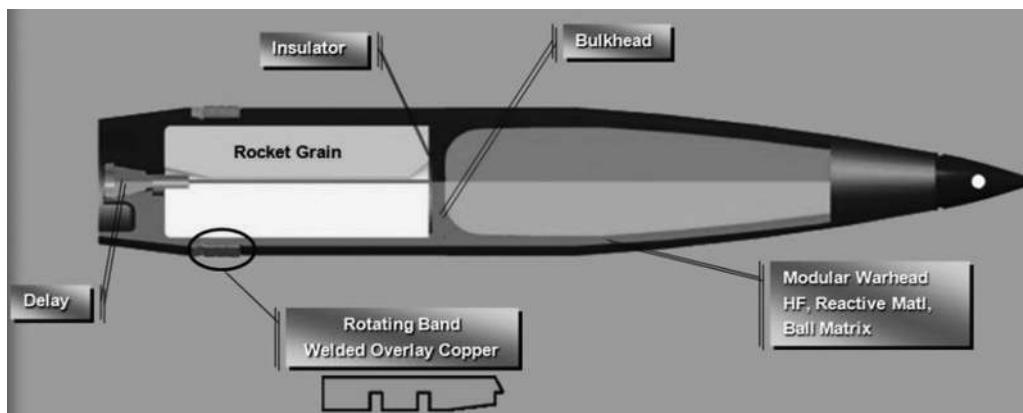


Рис. 6. Боєприпас XM1113 зі звичайним підривачем (фото з Інтернет)



Рис. 7. Пристрій прецизійного наведення PGK M1156 (фото з Інтернет)

Guidance Kit) M1156 (рис. 7), який виконує функції підривача з курсовою корекцією. Вага PGK становить 1,4 кг, що на 400 г важче штатного підривача снарядів калібру 155 мм. Окрім снарядів, він може застосовуватися для наведення мін калібру 120 мм. Застування PGK дозволяє зменшити на 74 % витрати боєприпасів та приблизно на 75 % загальну вагу боєкомплекту, якщо брати за основу наряд з 300 боєприпасів з традиційними підривачами.

PGK оснащений одноканалним приймачем сигналів GPS з одною прийомною антеною та має обертовий блок нерухомих рулів. Для програмування підривача перед пострілом застосовується спеціальний індуктивний програмувач. Під час польоту антена GPS утримується у верхньому положенні, а за рахунок обертання рулів коректується траєкторія снаряду. Середньоквадратична похибка наведення на дальностях 27-28 км становить 5 - 15 м, а на дальностях 40 км – до 30 м. Хоча в інших джерелах вказується, що точність не залежить від відстані, насправді дальність стрільби впливає на крутизну траєкторії і відповідно нахил снаряду відносно лінії горизонту на початковій та кінцевій ділянках польоту, що призводить до зменшення кількості супутників у сузір'ї для точного місцевизначення снаряду за даними GPS. Подальші роботи з удосконалення PGK, особливо його функціонування в умовах завад GPS, продовжуються.

При модернізації мінометів калібрів 120, 81 та 60 мм основна увага в CCDC Armaments Center приділялася зменшенню їх ваги до 25 % та оснащенню більш ефективними засобами прицілювання.

В успішному проведенні зазначених робіт значну роль відіграє **лабораторна база CCDC Armaments Center**. Зокрема, мова йде про обладнання для перевірки електроніки, оптичних та механічних систем керованих боєприпасів на стійкість до перевантаження під час пострілу (до 20000 g), яке забезпечує **м'яке гальмування 155-мм снаряду після пострілу до нульової швидкості**. Відповідне устаткування (**Soft Catch Gun System**) має у своєму складі штатну гармату M119 калібру 155 мм та сполучену з нею гальмівну трубу, яка складена з багатьох сегментів і має загальну довжину 165 м (рис. 8).

Щоб уповільнити снаряд, використовують як стиснене під значним тиском повітря, так і воду. Перша частина гальмівної траси містить відцентровані сегменти труб діаметром 25 - 30 см (візуальна оцінка) зі звичайним атмосферним повітрям. Наступна ділянка довжиною 96 м заповнюється стисненим повітрям, вона відділена від попередньої частини траси алюмінієвою діафрагмою, яка пробивається снарядом під час руху. Заключний сегмент гальмівних труб (24 м) заповнений водою. Від повітряного сегменту він відділений поршнем (пістоном), який сприймає удар снаряду й рухається разом з ним, тиснувши на воду та завершуючи гальмування боєприпасу. Після кожного випробувального пострілу здійснюють заміну діафрагми та поршня.

Залежно від типу снаряду та його прогнозованої початкової швидкості перед тестом проводять попередні



Рис. 8. Soft Catch Gun System (фото з Інтернет)

розрахунки необхідного тиску повітря і маси води, що використовуються в системі. При цьому необхідно враховувати багато змінних, зокрема, зовнішню температуру, оскільки щільність повітря під тиском залежить від неї. Траса оснащена чисельними манометрами, акселерометрами, датчиками температури, тиску, датчиками наближення. Вони дозволяють контролювати швидкість руху снаряду та вимірювати параметри ударної хвилі, що утворюється за рахунок його польоту і проходить по сегментах труби.

За день випробувань може бути здійснено 4 - 5 пострілів, середня вартість кожного з яких становить 25 - 28 тис. доларів США. Відстріл проводиться не тільки для нових зразків, а й з метою визначення термінів придатності серійних боєприпасів.

Розробка нових конструкцій бойових частин та їхнє випробування здійснюється підрозділом CCDC Armaments Center, що має назву **Davidson Warhead Facility**. Основною спорудою, яку він експлуатує, є зала, всередині якої може здійснюватися підриг бойових частин, що містять енергетичний матеріал вагою до 25 кг в тротиловому еквіваленті, з метою визначення діаграми розкиду осколків. Характерним елементом конструкції відповідної будівлі є наявність напівсферичного куполу висотою 12 м і діаметром 12 м, здатного рівномірно поглинати енергію вибуху. Стіни виконані з залізобетону товщиною 3 м та покриті 38-сантиметровим шаром броні. До купольної зали, в якій розташовується епіцентр вибуху, додано 100-метровий бетонний тунель для дослідження кумулятивних боєприпасів та ефектів ураження цілей.

Зокрема, тут пройшли випробування різні типи зразків попередньо фрагментованих і кумулятивних бойових частин. Серед трендів розвитку кумулятивних боєприпасів заслуговує уваги формування одночасно кількох незалежних джетів малого діаметру замість одного, з великим діаметром.

Завершаючи огляд спроможностей CCDC Armaments Center, слід вказати **лабораторію з проведення зовнішніх балістичних тестів (Ballistic Gun Range and Evaluation Complex)**. Вона оснащена 17 відеокамерами, що розташовані у вікнах бетонної стіни уздовж траси польоту снаряду та призначені для ведення цифрової HD-зйомки зі швидкістю 5800 фреймів/с. Крім того, позаду гармати, що здійснює постріл, розташовано РЛС виміру швидкості снаряду компанії Weibel серії SL. На кінці траси (довжиною приблизно 60 м) у скелі вбудовані два бетонні уловлювачі снарядів з піщаними наповнювачами. Стрільба може вестися одночасно з двох гармат з дистанційним керуванням електроспуском, у тому числі синхронно. Відеокамери дозволяють оцінити обертову швидкість снаряду на траєкторії.

Звичайно, описана структура нового командування AFC ще потребує перевірки часом. Разом з тим, поважливе ставлення при його формуванні до потенціалу попередньої системи досліджень і розробок сухопутних військ США створило умови для безболісного проведення реформи та подальшої активізації науково-експериментальної діяльності. Все це у поєднанні із стабільним фінансуванням є запорукою ефективного вирішення AFC завдань, що перед ним поставлені.

Слюсар В.І.

Resume

MILITARY TECHNICAL POLICY

Chepkov I. B., *Doctor of Technical Sciences, Professor*

<https://orcid.org/0000-0002-4294-4152>

Dovhopolyi A. S., *Doctor of Technical Sciences, Professor*

<https://orcid.org/0000-0001-9227-9771>

Husliakov O. M., *Candidate of Engineering Sciences*

<https://orcid.org/0000-0002-3893-9465>

(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

CONCEPTUAL BASIS OF CREATION OF DOMESTIC HEAVY-CLASS STRIKE-RECONNAISSANCE GROUND-BASED ROBOTIC COMPLEXES

The following article deals both with the generalization of the world experience in the creation of the heavy-class strike-reconnaissance ground-based robotic complexes and determination of the level of backlog of Ukraine in the field of military robotics from the leading countries of the world.

The analysis of modern armed conflicts allowed to determine the most important combat tasks of the ground-based robotic complex and its conceptual and technical outline.

Based on the conducted analysis, the approach of choosing the base chassis is proposed and the main measures for the creation of analogs on the chassis of the national crew samples of armored artillery and military equipment are specified.

The choice of the base chassis of the heavy-class robotic complex conditioned by the need to eliminate the backlog of Ukraine to the leading countries of the world in the field of robotics. So it is advisable to give preference to the latest modern models of military equipment with high combat potential developed in Ukraine.

The analysis of the basic systems and components of separate samples of this class is carried out.

The structure of the platoon of robotic complexes, of the control point and the remotely controlled moving part of the strike-reconnaissance ground-based robotic complex is presented.

Four variants of the equipment of the robotic complex with weapons, special equipment, devices and systems are offered.

The composition of combat modules depending on the variants of the combat ground-based robotic complex application is presented.

The propositions on the combat application and the basic modes of work of the robotic complex in different environmental conditions are defined.

The content of the main activities on the development and creation in Ukraine of heavy-class robotic complexes on the basis of the domestic armored personnel carrier, which allows to make a choice of appropriate stages, mechanisms and methods of their realization, is substantiated.

The recommendations for the implementation of the necessary priority research and development work, the results of which may increase the tactical and technical characteristics and the effectiveness of the use of domestic combat ground robotic systems are presented.

The directions for further research are determined.

Keywords: heavy-class strike-reconnaissance ground-based robotic complexes, remote control, armored personnel carrier, technical vision system, unmanned machines.

Demidov B. A., *Doctor of Engineering Sciences, Professor*

(Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv)

<https://orcid.org/0000-0003-1728-6925>

Velychko O. F., *Master of Public Management*

(National Security and Defense Council of Ukraine, Kyiv)

<https://orcid.org/0000-0002-7631-6584>

Grib D. A., *Candidate of Military Sciences*

<https://orcid.org/0000-0001-8478-978X>

Kucherenko Y. F., *Candidate of Engineering Sciences*

<https://orcid.org/0000-0001-9937-371X>

Khmelevcka O. A., *Candidate of Engineering Sciences*

<https://orcid.org/0000-0001-9018-5552>

(Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv)

PROBLEMS OF THEORY AND PRACTICE OF MANAGEMENT OF THE DIFFICULT MULTISTRUCTURAL SYSTEMS OF MILITARY-ORIENTED A STRUCTURAL DYNAMICS IN THE CONDITIONS OF SITUATION, THAT DINAMICALLY CHANGE IN THE DISTRICT OF BATTLE ACTIONS

In the article the problem system-conceptual aspects of planning and conduct of the incorporated (interspecific) operations are examined by the groupments of the armed forces and operative management a structural dynamics many difficult structural systems of military-oriented in the conditions of dynamic change of operational-strategic and operatively-tactical situation on the seat of wars (in the district of battle actions). Basic elements, problems and directions of activity of innovative character, are distinguished, that embraced by the range of problems of theory and practice of management of military-oriented the difficult multistructural systems. Factors that stipulate the necessity of development of theory and practice of management of the difficult multistructural systems of military-oriented a structural dynamics are analysed. Among problems that is related to this management, such issues of the day are distinguished, as: providing of effective management the structural dynamics of the difficult multistructural systems of military-oriented in the conditions of dynamic change of situation on a battle-field in the conditions of active antagonism opposition of opponent; automations and informatizations of operative management operations (that executed by the groupments of the armed forces in the conditions of dynamic change of operational-strategic (operatively-tactical) situation on the seat of wars (in the district of battle actions); other problems, from quality of results and plenitude of decision of that, usually, there will be залежуму practical realization of effective management operations (by the battle actions) of the incorporated (interspecific) groupments of the armed forces in the dynamics of conduct of the armed fight against the groupments of troops of opponent. Considerable attention is spared to the scientifically-methodical questions of research of processes of management of the difficult multistructural systems of military-oriented a structural dynamics a conduct of the armed fight is against the groupments of troops of opponent. Considerable attention is spared to the scientifically-methodical questions of research of processes of management of the difficult multistructural systems of military-oriented a structural dynamics and creation of the integrated system of support of acceptance of administrative decisions, and also adaptive transformation of organizational structure of these systems to the terms of dynamic change of situation in the district of conduct of battle actions.

Keywords: automation, adaptation, informatization, state monitoring, operative-strategic (operationally tactical) environment, structural dynamics, structural dynamics management, information dominance.

ARMORED VEHICLES

Mocherad V. S., *Candidate of Engineering Sciences*

<https://orcid.org/0000-0001-7408-7661>

Dubno M. V., *Chief of Research Laboratory*

<https://orcid.org/0000-0002-3192-0382>

Kolesnyk V. V., *Senior Research Officer,*

<https://orcid.org/0000-0001-5257-3124>

Zadorozhnyi V. P., *Research Officer,*

<https://orcid.org/0000-0002-1134-3928>

(Hetman Petro Sahaydachnyi National Army Academy, Lviv)

DETERMINING THE PURPOSE OF THE OBJECTIVE FOR ITS IMPACT BY THE VISIBLE SURFACE MAXIMUM

Currently, the requirement to reduce the psychological load on the members of the tank crew remains vital with the simultaneous increase in the effectiveness of target group engagement. The fulfillment of this requirement necessitates the automation of all functions performed by the tank crew. In particular, such functions include the choice of target for engagement.

Known procedure for rational choice of the target for its engagement by the criterion of the degree of danger of the target and the maximum fire performance of the tank armament complex when firing at typical targets does not fully take into account the data on the target tactical situation and the state of targets and needs further improvement and development. On the whole, this approach meets the rule of the target selection for the tank crew, but based on the limitations and assumptions that were made in the study, there is some ambiguity in the choice of the target, when at approximately the same distance the same targets are detected. This ambiguity can be solved if topographical and tactical shooting conditions are taken into account.

The article presents the advanced method of determining the priority of the target for its engagement by the criterion of the maximum the visible surface, which is based on the rule of selecting the target with the tank crew and developed method for determining the area of the visible target surface and allows to automate the process of choosing the target for engagement, depending on the angles of observation and orientation of the target in space, its type and direction of movement. That is, this way, the topographical conditions of shooting are taken into account.

The novelty of the developed method is the possibility of automating the process of determining the apparent target area by replacing the complex geometric form of any target by the ellipsoid and determining the ellipse area formed by the ellipsoid plane formed by the central cross-section.

The developed method allows solving the ambiguity of the choice of target for engagement among similar targets, which are detected at approximately the same distance and also allows to improve the known algorithms of target allocation in a tank unit by taking into account additional criterion that characterizes the visible area of the target.

Keywords: selection of a target for engagement, visible target surface, topographic conditions of shooting from a tank.

TACTICAL WHEELED VEHICLES

Hrubel M. H., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Doctoral Candidate
orcid.org/0000-0002-4820-6935

(Hetman Petro Sahaydachnyi National Army Academy, Lviv)

Krajnyk L. V., Doctor of Engineering Sciences, Professor
orcid.org/0000-0002-0524-9126

(Lviv Polytechnic National University, Lviv)

Bodnar M. F., Candidate of Engineering Sciences
(Lviv Polytechnic National University, Lviv)
orcid.org/0000-0003-3377-8209

ESTIMATING OF MILITARY VEHICLES TRACTION-SPEED CHARACTERISTICS IN OFF-ROAD CONDITIONS USING IMITATION MODELING METHODS

The analysis of known researches and imitation modeling methods of all-wheel drive vehicles movement as well, as passability in off-road conditions is presented in the article.

In order to increase the passability in difficult road conditions, specific requirements are put forward to the design of a vehicle, the purpose of which is to reduce the resistance to movement or to increase the traction qualities. In addition, improved vehicle availability worsens its economic performance when used on hard surfaces. However, vehicles that are used in the Armed Forces (AF) to complete various tasks, especially in areas where units are deployed in combat formations, must necessarily be highly passable. This is explained by the fact that they mainly carry out tasks on roads with low bearing capacity and off-road.

Known theoretical researches are based on empirical characteristics of different types of reference surfaces at different values of soil saturation with moisture - deformation module. In the countries of NATO, similar researches are based on reference surfaces bearing properties determined by definition of so-called conic Index VCI (Vehicle Cone Index). According to the methodological differences in the passability assessment in Russian and Western scientific schools, it is emphasized on necessity of this aspect assessment by imitation modeling. The algorithm of passability assessment by movement modeling using Matlab Simulink - software complex for dynamic systems imitation modeling was worked out and it will be used as base for further development of the passability research formation methodology. This algorithm includes heterogeneity of the characteristics of the reference surface on the right and left sides of the machine, possibility of overcoming artificial significant interferences, maneuvering and evaluating critical turn radius and ability to overcome water obstacles. Thus, the considered method allows to estimate the patency of military vehicle sample at the development, design and manufacture stages, as well as during operation in specific or typical conditions of exploitation. The obtained results are crucial in substantiating the parameters and creating the type of MAE for the Armed Forces of Ukraine.

Keywords: off-road, passability, all-wheel drive vehicle, imitation modeling

Shishanov M. A., *Doctor of Engineering Sciences, Professor*

<https://orcid.org/0000-0002-7121-3666>

(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

Veretnov A. O., *adjunct*

<https://orcid.org/0000-0003-0160-7325>

(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

THE METHODOLOGICAL BASIS OF THE STUDY OF THE REPAIR OF THE MILITARY MOTOR EQUIPMENT

The article studies the repair of military vehicles. For the military equipment in combat conditions, in addition to operational factors, the enemy's striking actions are also characterized by various means of combat. One of the most important factors determining the duration of military use of military vehicles is its resilience to the impressive factors of various means of struggle. In turn, the stability of the OJSC can be characterized by a number of quantitative characteristics, the most important of which is the damage. The defeat determines the possibility of failure of the object, and indirectly - the possibility of its recovery and return to the strike. Almost all means of combating the OJSC require the direct contact of the means of destruction with the model of OJSC. An exception may be a shock wave of high power, which has a great destructive power. Therefore, for most of the cases, the methodology for determining the probability of damage to the OJSC will have much in common. The following cases are considered: probability of damage to the OJSC at the contact of the means of destruction with the model of the OJSC; the likelihood of the damage of the JSC from a shock wave of high power. he proposed method for determining the likelihood of damage to the model of the OJ must necessarily be taken into account when substantiating the tactical and technical requirements for the development of the latest models of the OJSC, in the study of the repair of military automotive equipment, as well as in determining the possible labor-intensiveness of the restoration of machines, the calculation of the nomenclature of carriages repair kits of spare parts and aggregates, development of typical technological processes of repair of the JSC and development of the latest mobile maintenance and repair. The results of evaluating the striking actions of the enemy may provide the opportunity to develop organizational and technical measures to improve the reparability of the design of the model and the normative documentation on the operation and repair of military automotive equipment.

Keywords: reparability; military automobile machinery (JSC); maintenance and repair (TO and R); trial; experiment; probability of defeat; external factors.

Fedorov P. M., *Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer,*

<https://orcid.org/0000-0003-1359-2757>

(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

Bohucharskyi V. V., *Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer,*

<https://orcid.org/0000-0001-5514-1642>

(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

INTERFERENTIAL WEAKENING OF RADAR SIGNALS FROM LOW-ALTITUDE TARGETS

Detection of objects located at low altitude (low-altitude targets) by the land-based radars with antennas placed near the ground is difficult because of interference of direct beam and ground-reflected beam. Both the so-called low-flying targets, i.e. vehicles flying at low altitude following the terrain, and objects located directly at earth surface, such as trucks or ships; when very distant to radar belong to low-altitude targets.

For the low-altitude targets, the law of energy attenuation of received radar signal is very different from the well-known inverse fourth-power law typical for the signals reflected by the air targets flying at relatively high altitude. In practice, the radar signals reflected by low-altitude targets attenuate more rapidly. It is necessary to account this in calculations of range and required power of radar.

The aim of this article is estimation of additional energy losses in radar observation of low-altitude targets to account these losses upon radar operation or designing.

The phenomenon of interference weakening of radar signals from low-altitude targets is considered in the article. It has been shown that in the case of low-altitude targets owing to smallness of glancing angle of ground-reflected beam it takes place nearly counter phase addition (in fact, subtraction) of direct and ground-reflected beams of roughly the same amplitudes. As a result, we have a substantial reducing of the range of radar observation of low-altitude targets. Equations for estimation of additional energy losses in detection of low-altitude targets are presented. A simple technique for accounting interference processes in the specific conditions of radar observation is proposed.

Keywords: radar, interference factor, low-altitude target, additional losses.

Zibin S. D., *Research Associate*

<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>

Popov A. O., *Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,*

<https://orcid.org/0000-0002-8560-617X>

Tverdochlibov V. V., *Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer*

<https://orcid.org/0000-0002-6802-9796>

(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

PROVIDING INTERFERENCE IMMUNITY OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM SIGNAL RECEIVERS BY EMPLOYING SPACE FILTERING ALGORITHMS

The problem of providing interference immunity of global navigation satellite system signal receivers that provide exploiting land platforms is formulated. It is shown that this problem is stipulated by the presence of wide spectrum of electronic warfare means and systems that can upset navigation within tactical operation zone. We estimate necessary level electronic counter-countermeasures of global navigation satellite system signal receivers providing land platform exploitation operating under conditions when the enemy creates electronic counter measures by means of land and air electronic warfare platforms. Taking into account necessary calculated level of noise immunity that is characterized by jam suppression coefficient of 86 dB, we conclude that formulated problem can be solved by employing global navigation satellite system signals space filtering algorithms based on using antenna arrays. We consider adaptive space filtering algorithm, built on the basis of

recursive method of forming inverse covariance matrix estimator, processing the signals of global navigation satellite system under severe jamming conditions. On the basis of this algorithm we create mathematical model of anti-jamming global navigation satellite system signals receiver functioning under jamming conditions. By created mathematical model with help of computer simulating signal receiving and processing in circular antenna array we estimate the efficiency of anti-jamming global navigation satellite system signals receiver functioning under jamming conditions. We make a conclusion that desired jam suppression coefficient can be achieved by employing 25-element circular antenna array with special configuration based upon recursive method of forming inverse covariance matrix estimator when prior forming initial values of weight coefficient vector of antenna array to provide initial antenna patterns shown in the corresponding figures.

Keywords: interference immunity, global navigation satellite system, electronic counter-countermeasures, electronic countermeasures, circular antenna array, space signal filtering, weight coefficient vector, recursive method of forming inverse covariance matrix estimator

AIRCRAFT ARMAMENT & FACILITIES

Nikolaev I. M., *Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer*
<https://orcid.org/0000-0002-1250-9918>
(Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv)

METHOD OF APRIOR'S DESCRIPTION OF AIRCRAFT ON THE BASIS OF SIGNALS, RELATED TO THE STRUCTURE AND PARAMETERS OF RADIATION OF ON-BOARD RADIOLOCATION STATIONS

The method of forming a priori reference descriptions of recognizable classes (types) and states of radio-emitting aircraft based on features associated with the structure and parameters of radiation of airborne radar stations is described. It is shown that under conditions of parametric uncertainty, the division of radio-emitting aircraft into classes (types) and states, the choice of an a priori dictionary of signal signs and the formation of a priori descriptions should be carried out based on the analysis of data on operating modes and radiation parameters of on-board radars and verification of the results obtained by statistical modeling. An a priori dictionary of signal features is given, which includes time-frequency parameters due to the operating modes of transmitting devices and antenna systems of on-board radar. It is shown that the catalog of reference descriptions is a table whose rows correspond to the names of classes (types) and aircraft states, and the columns correspond to the names of signs, while the reference descriptions of the classes (types) and states of the aircraft in the rows of this table are represented by intervals of possible values of parameters Radiation of airborne radars included in the prior dictionary. The technique is illustrated by models of a priori descriptions of several types of aircraft belonging to different classes.

Keywords: reference descriptions catalog, classified training set, radio-emitting aircraft, airborne radar, radiation parameters, signaling dictionary

Zirka A. L., *Candidate of Engineering Sciences*,
<https://orcid.org/0000-0001-5304-2894>
(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

Silkov V. I., *Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*,
<https://orcid.org/0000-0003-4446-212X>
(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

Zhevtiuk O. A., *Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer*,
<https://orcid.org/0000-0002-6337-4750>
(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

METHOD OF CALCULATING OF THE RANGE OF ANGLES AND SPEEDS OF A MISSILE'S MEETING WITH AN OBSTACLE TO TRIGGER BLASTING DEVICE

In the course of the acceptance tests of aviation unguided air-to-surface missiles, a number of complications arise with the verification and confirmation of all the specified parameters of the missile functioning under conditions close to real ones. For example, one of the requirements for air-to-surface unguided air-to-air missiles is reliable operation of a subversive mechanism or a safety-actuating mechanism when a rocket touches at high angles to the normal surface of the target, including when penetrating a surface with low soil density.

Difficulties in estimating this parameter are associated with the complications of full-scale reconstitution of such conditions, as well as recording the results of such tests. In addition, in Ukraine there are no standard methods for conducting such tests. Thus, there is a contradiction of a scientific and practical nature between the practical need to recreate the conditions of a rocket to record the entire range of set values of the operating parameters of the safety-actuator of the rocket and the lack of the necessary methodological support for such tests today. Taking into account the above, it is proposed to apply the method of mathematical modeling to estimate such parameters.

In the article, a methodical approach is proposed and the results of a numerical experiment are presented regarding the calculation and confirmation of the set parameters of the safety-actuator operation for reliably undermining the warhead under different conditions of meeting an unguided aircraft missile with the surface. In order to confirm the results of the calculation methodology, the article describes a method for the field reproduction of the actuation process of the safety-executing mechanism, as well as a schematic diagram and description of the operation of such a test device.

Keywords: unguided air missile, nature renovation, unguided air-to-surface missile

RESEARCH METHODS

Sirenko V. Ye., *Candidate of Economic Sciences*

<https://orcid.org/0000-0002-0857-993X>

(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

Demchenko Ye. Ya., *Head of department,*

<https://orcid.org/0000-0002-8743-923X>

(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

SOME FEATURES OF CHRONOLOGICAL CALCULATIONS

The essence of the problem of the transfer of calendar dates in time intervals between them and vice versa, which arises in the process of computer processing of scientific research results, in which time factor is involved and machine methods of computational mathematics are used is presented.

Main regularities of the Gregorian calendar are formalized.

Four theorems are formulated and proved in relation to the choice of the necessary variant of chronological calculations:

Theorem 1. If the time interval between late and early events, calculated in days, exceeds the time interval from the date of the early event to the end of the year in which it occurs, then the early and late events will take place in different years. And vice versa.

Theorem 2. If the time interval between late and early events, given in months, exceeds the time interval from the end of the month of the early event to the end of the year in which it occurs, then the early and late events will occur in different years. And vice versa.

Theorem 3. If the time interval between the late and early events, calculated in days, exceeds the time interval between the date of the late event and the beginning of the year in which it occurs, then the early and late events will take place in different years. And vice versa.

Theorem 4. If the time interval between late and early events, given in months, exceeds the time interval between the beginning of the month of the late event and the beginning of the year in which it occurs, then the early and late events will take place in different years. And vice versa.

3. Algorithms for solving nine major chronological problems, namely are proposed:

define a time interval between late and early events when their calendar dates are known;

determine the calendar date of the late event, when the known early event calendar date and the time interval between the late and early events;

determine the calendar date of an early event, when the late calendar date of the late event is known and the time interval between the late and early events.

Each of these tasks is solved in three ways, when the time interval between late and early events is determined by:

only in days;

in days and months;

in days, months and years.

Key words: chronological calculations; Gregorian calendar; computer facilities; software products; machine methods of computational mathematics.

Holovin O. O., *Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer,*

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

(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

Zirka M. V., *Research Associate,*

<https://orcid.org/0000-0003-2915-3011>

(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

Kadet N. P., *Senior Instructor,*

<https://orcid.org/0000-0003-2954-6325>

(National Aviation University, Kyiv)

Fregan N. M., *Senior Instructor*

Kotsiuruba V. I., *Doctor of Technical Sciences, Senior Research*

<https://orcid.org/0000-0001-6565-9576>

(National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv)

FUZZY ASSESSMENT METHODOLOGY FOR SUPPORT SYSTEMS FOR PROJECT DECISION AT THE STAGES OF THE CREATION OF SAMPLES OF ARMAMENT AND MILITARY EQUIPMENT

At present, software solutions to support decision-making are actively developing. Among the factors that stimulate the development of this class of software systems, it is possible to note an increase in the role of their use for solving weakly structured and difficult formalized tasks in conditions of uncertainty, inaccuracy, incompleteness and inconsistency of output data, the need to take into account variably and dynamically changing parameter parameters. In such circumstances, the development of methods for multi-criteria evaluation of complex objects and alternatives to solutions becomes of great importance.

In this article it was found that there are a number of significant drawbacks, namely: the complexity of the formation of a multi-level structure of evaluation; the lack of consideration of compatibility of unevenly significant indicators; the lack of joint execution of direct and reverse evaluation tasks with the support of choosing the best solutions. It is precisely in order to address these shortcomings; the fuzzy evaluation methodology for decision support systems was developed in this research.

To achieve this goal the main provisions were used methods of artificial intelligence, complex technical systems, fuzzy logic and multi-objective optimization and multiparameter. The scientific novelty of the proposed methodology is that fuzzy estimation models that are part of the proposed methodology are proposed to create software tools for choosing solutions, taking into account the hierarchical structure, mutual compatibility and different meanings of the evaluated indicators.

Also, development of fuzzy evaluation methodology, focused on the program implementation of the extended possibilities of fuzzy estimation models is offered and taking into account the different nature of

aggregation and the interaction of evaluated indicators, the choice of convolution operations and evaluation strategies. The practical value of the proposed methodology is the development of software tools to support a choice of solutions, including modules: a visual editor; construction of estimation and decision making processes; construction and adjustment of a fuzzy estimation model (the formation of a hierarchical structure of indicators of evaluation, the problem of weights and fuzzy relations of compatibility between indicators); selection and comparison of operations of convolution indicators of degrees of compatibility of indicators; direct and inverse fuzzy evaluation (tasks of values of indicators, tasks of the evaluation strategy, breakdown of fuzzy compatibility relations into compatibility classes, modification of fuzzy compatibility relations, construction and bypass of decision trees).

Keywords: information and analytical system, transdisciplinary integration of information resources, intelligence models, fuzzy estimation, fuzzy logic

NAVY ARMAMENT & EQUIPMENT

Derepa A. V., *Doctor of Engineering Sciences, Senior Research Officer,*

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

(Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv)

Leiko O. H., *Doctor of Engineering Sciences, Professor,*

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

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

Drozdenco O. I., *Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,*

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

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

Svyatnenko A. O., *Chief of Department*

(State Enterprise «Kyiv Scientific Research Institute of Hydrodevices», Kyiv)

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

MECHANICAL STRENGTH OF HYDROACOUSTIC CYLINDRICAL RADIATORS WITH INTERNAL SCREEN

The frequency and angular characteristics of the amplitudes of the oscillatory velocities of cylindrical radiators in the internal volume of which are filled with liquid are studied. Acoustic screens are placed depending on the distance between the piezoceramic shell of the radiators and the screen. Based on them, the evaluation of the mechanical strength of the radiators was conducted. It is shown that such a technical implementation of hydroacoustic radiators creates a number of advantages that are interesting from the point of view of increasing the effectiveness of sonar stations. It has been established that the vibrational velocity of real sound sources significantly depends on both the internal impedance and the response of the external environment, since the sound sources differ in the final values of their internal mechanical resistance. Therefore, it is possible to control the parameters of its mechanical field by changing the sound field in the internal cavity of the radiator. When sonar stations operate in the radiation mode in the region of low-frequency resonances of radiators with screens, the danger of destruction of the radiators of the hydroacoustic antennas significantly increases due to a sharp increase in the amplitudes of their vibrational velocities and the possibility that the amplitudes of vibrational velocities exceed the values allowed by mechanical strength. This circumstance must be taken into account when creating the generator devices of the radiation paths of the sonar stations.

Keywords: sonar station, acoustic screen, cylindrical radiator.

Kosiakovskiy A. V., *Candidate of Engineering Sciences,*
(*Central Scientific Research Institute of Armaments and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine,*
Kyiv)

<https://orcid.org/0000-0002-4796-3299>

Davydov V. S., *Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,*
(*State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv*)

<https://orcid.org/0000-0002-7417-2521>

Ovchinnikova A. I., *Doctoral Student,*
(*State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv*)

<https://orcid.org/0000-0003-4121-2336>

MATHEMATICAL MODEL OF CREATING SAFETY CONDITION OF NAVIGATION OF PUSHED TUG CONVOYS ON RIVERS AND IN THE COSTAL MARINE ZONE

The article defines approaches for the creation of the mathematical model for ensuring the safe navigation of tugboat convoys on the rivers and in the coastal marine zone by identifying a set of parameters which are an object of investigation and establishing an algorithmic dependence between output effect of the system on their values. As indicators of efficiency, the following parameters influence on the operation and safe navigation of pushed and towed convoys. By means of multicriterion optimization, the next rates were selected as the main indicators: lateral deviation of the center of mass of moving convoys from a given route; the distance to the underwater and overwater navigational landmarks (dangers) or the turning point from the location of the pushed tugboats on their trajectory of motion, which is determined by the additional option of an electronic chart navigation and the information system that allows to use a moving coordinate cursor in high precision cogeneration mode by automatic plotting of different navigational objects; the possibility of obtaining complete and reliable information about the location of the pushed tugboat on the trajectory of its movement; the average time of a circular voyage of push and towed tugboats. In the further research, it is offered to establish a main indicator - the average time of a circular voyage, which is selected as a criterion of efficiency, which has to be minimized and other indicators to be placed in the category of restrictions.

Keywords: pushed tug convoys, swimming safety, river and coastal zone, algorithmic dependence, initial effect of the model

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

Шановні читачі!!!

Доводимо до Вашого відома, що в нашому видавництві пройшли суттєві зміни щодо оформлення та подання статей до нашого видання.

По-перше, відкрито сайт журналу, на якому більш докладніше викладені вимоги до наших публікацій. Ознайомитися можна за посиланням

[https:// journal.cndiovt.com.ua](https://journal.cndiovt.com.ua)

По-друге, звертайтеся до редакції журналу за

телефоном: **+38(097)389-79-10,**

Чучмій Андрій Володимирович,

E-mail: a_chuchmiy@ukr.net

E-mail: cndi_ovt@mil.gov.ua.

Дата друкування 26.09.2019. Формат 60 x 84 1 / 8. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Друк офсетний.
Обсяг 17,25 ум. др. арк., 9,42 обл.-вид. арк. Наклад 250 прим. Зам. № 1758-2.

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