



# Озброєння та Військова Техніка

Науково-технічний журнал  
Щоквартальний  
Видається з січня 2014 р.  
**4(8)/2015**

**Керівник проекту,  
Голова редакційної ради**

**І.Б. Чепков,**

д-р техн. наук.

**Редакційна колегія:**

**Г.О. Бойко**, д.т.н., гол. ред. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)  
**С.В. Лапицький**, д.т.н., зам. гол. ред. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)  
**О.Б. Анішко**, д.т.н. (ХУПС)  
**Ю.М. Бусяк**, д.т.н. (ХКБМ)  
**А.С. Довгополий**, д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)  
**В.В. Зубарєв**, д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)  
**А.М. Зубков**, д.т.н. (АСВ)  
**О.П. Коростельов**, д.т.н. (ДержККБ «Луць»)   
**Д.Б. Кучер**, д.т.н. (АВМС)  
**Б.М. Ланецький**, д.т.н. (ХУПС)  
**М.І. Луханін**, д.т.н. (ЦНДІ ОВТ ЗСУ)  
**М.М. Мітрахович**, д.т.н. (ДП «Івченко-Прогрес»)   
**Б.О. Оліярник**, д.т.н. (ЛНДРТІ)  
**А.І. Світисев**, д.т.н. (НУОУ)

**Редакційна рада:**

**Ю.А. Гусак**, д.в.н. (ВНУ ГШ ЗСУ)  
**М.М. Шевцов**, к.т.н. (ОЗСУ)  
**Р.С. Башинський** (ДОВТ)  
**Г.В. Певцов**, д.т.н. (ХУПС)  
**О.В. Сотников**, к.т.н. (НАНУ)  
**В.М. Телелім**, д.в.н. (НУОУ)  
**П.П. Ткачук**, д.іс.н. (АСВ)  
**І.В. Толок** (ДВОН МОУ)  
**В.Б. Толубко**, д.т.н. (ДУТ)  
**О.В. Харченко**, д.т.н. (ДНДІА)

Науковий редактор  
д.т.н. **Г.О. Бойко**

Оригінальний макет виготовлено  
Видавничим домом Дмитра Бураго

**Адреса редакції:**

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

Свідчення про державну реєстрацію  
КВ №20209-100009 Р від 20.08.2013

Журнал входить у перелік наукових видань  
Міносвіти України Наказом №7-дск від  
30.09.2014 р.

Дизайн обкладинки **О. Мумінової**

## ЗМІСТ

**СТРІЛЕЦЬКЕ ОЗБРОЄННЯ**

*Біленко О. І., Бєлашов Ю. О.* Обґрунтування раціональних значень технічних характеристик снайперської гвинтівки для сил безпеки. . . . . 3

**ВІЙСЬКОВО-МОРСЬКІ СИЛИ**

*Дерєпа А.В.* Гідроакустичні станції з буксируваними антенами зосередженого типу та шляхи створення ними діаграми направленості спеціальної форми . . . . . 9  
*Дерєпа А.В.* Гідролого-акустичні особливості морської середовища та їх вплив на структуру побудови комплексної системи «гідроакустичне озброєння – надводний корабель» . . . . . 15

**РАДІОЗВ'ЯЗОК**

*Шишацький А.В., Лютов В.В., Жук О.Г.* Аналіз напрямів підвищення ефективності функціонування систем радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням . . . . . 22

**АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ**

*Башкиров О.М., Голєнковська Т.І.* Порівняльний аналіз шляхів розвитку автоматизованих систем управління Збройних Сил України . . . . . 27

**АВІАЦІЯ**

*Мавренков О. Є.* Методичний підхід до оцінювання техніко-технологічної реалізованості варіантів модернізації бойових літальних апаратів . . . . . 33

**БЕЗПЛОТНІ АВІАЦІЙНІ КОМПЛЕКСИ**

*Огороднійчук М. Д., Пономаренко С. О.* Компенсація траєкторних нестабільностей, пружних коливань конструкції безпілотного літального апарата при роботі радіолокаційної станції із синтезованою апертурою антени . . . . . 41

**ГІС: ТОПОГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬК**

*Чорнокнижний О. А., Савчук Р. Г.* Вибір показників ефективності функціонування системи забезпечення оперативного командування спеціальними картами та фотодокументами щодо місцевості в оборонній операції . . . . . 47

**ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯ ТА ІНФОРМАТИЗАЦІЯ**

*Лебідь Є.В.* Застосування цифрової системи фазового автопідстроювання частоти з метою синхронізації сигналів у сучасних транспортних мережах передачі даних . . . . . 52

**АРТИЛЕРІЙСЬКЕ ОЗБРОЄННЯ**

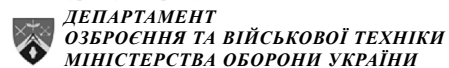
*Макеєв В. І., Пушкарьов Ю. І., Мартиненко С. А., Пономаренко С. О.* Про шляхи підвищення точності складання таблиць стрільби . . . . . 57

**ВІДНОВЛЮВАНІСТЬ, РЕМОНТОПРИДАТНІСТЬ**

*Шишанов М. О., Мельник Б. О., Кобяков Л. І.* Забезпечення відновлюваності й ремонтпридатності машин військового призначення. . . . . 67

**ІНФОРМАЦІЯ** . . . . . 72

Видання журналу підтримують:





*СОДЕРЖАНИЕ*

Руководитель проекта,  
Председатель редакционного совета

**И.Б. Ченков,**

д-р техн. наук.

**Редакционная коллегия:**

**Г.А. Бойко**, д.т.н., гл. ред. (ЦНИИ ВВТ ВСУ)

**С.В. Лапицкий**, д.т.н., зам. гл. ред. (ЦНИИ ВВТ ВСУ)

**О.Б. Анишко**, д.т.н. (ХУВС)

**Ю.М. Бусяк**, д.т.н. (ХКБМ)

**А.С. Довгопаль**, д.т.н. (ЦНИИ ВВТ ВСУ)

**В.В. Зубарев**, д.т.н. (ЦНИИ ВВТ ВСУ)

**А.Н. Зубков**, д.т.н. (АСВ)

**О.П. Коростелёв**, д.т.н. (ГосККБ «Луч»)

**Д.Б. Кучер**, д.т.н. (АВМС)

**Б.Н. Ланецкий**, д.т.н. (ХУВС)

**М.И. Луханин**, д.т.н. (ЦНИИ ВВТ ВСУ)

**М.М. Митрахович**, д.т.н. (ГП «Івченко-Прогресс»)

**Б.А. Олиарник**, д.т.н. (ЛНИРТИ)

**А.И. Сбитнев**, д.т.н. (НУОУ)

**Редакционный совет:**

**Ю.А. Гусак**, д.в.н. (ВНУ ГШ ЗСУ)

**М.М. Шевцов**, к.т.н. (ВВСУ)

**Р.С. Бащинский** (ДОВТ)

**Г.В. Певцов**, д.т.н. (ХУВС)

**А.В. Сотников**, к.т.н. (НАНУ)

**В.М. Телегим**, д.в.н. (НУОУ)

**П.П. Ткачук**, дис.н. (АСВ)

**И.В. Толок** (ДВОН МОУ)

**В.Б. Толубко**, д.т.н. (ГУТ)

**А.В. Харченко**, д.т.н. (ГНИИА)

Научный редактор  
д.т.н. **Г.А. Бойко**

Оригинал-макет подготовлен  
Издательским домом Дмитрия Бураго

**Адрес редакции:**

Украина, 03049, г. Киев,  
пр-т Воздухофлотский, 28  
Тел.: (044) 271-0966  
Факс: (044) 520-12-84  
E-mail: cndi\_ovt@mil.gov.ua

Свидетельство о государственной регистра-  
ции КВ №20209-100009 Р от 20.08.2013

Журнал входит в перечень научных изданий  
Минобразования Украины Приказом №7-дск  
от 30.09.2014 г.

Дизайн обложки **Е. Мушиной**

**СТРЕЛКОВОЕ ВООРУЖЕНИЕ**

*Биленко А. И., Белаиов Ю. А.* Обоснование рациональных значений технических характеристик снайперской винтовки для сил безопасности ..... 3

**ВОЕННО-МОРСКИЕ СИЛЫ**

*Дерена А. В.* Гидроакустические станции с буксируемыми антеннами сосредоточенного типа и пути создания ими направленности специальной формы ..... 9  
*Дерена А. В., Лейко О. Г.* Гидролого-акустические особенности морской среды и их влияние на структуру построения комплексной системы «гидролого-акустическое вооружение –надводный корабль». .... 15

**ТЕХНИКА СВЯЗИ**

*Шишацкий А. В., Лютов В. В., Жук О. Г.* Анализ направлений повышения эффективности функционирования систем радиосвязи с ортогональным частотным мльтиплексированием ..... 22

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

*Башкиров А. Н., Голенковская Т. И.* Сравнительный анализ путей развития автоматизированных систем управления Вооруженных Сил Украины ..... 27

**АВИАЦИЯ**

*Мавренков А. Е.* Методический подход к оценке технико-технологической реализуемости вариантов модернизации боевых летательных аппаратов ..... 33

**БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ**

*Огороднійчук М. Д., Пономаренко С. О.* Компенсация траекторных нестабильностей, упругих колебаний конструкции беспилотного летательного аппарата при работе радиолокационной станции с синтезированной апертурой антенны ..... 41

**ГИС: ТОПОГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОЙСК**

*Чорнокнижний О. А., Савчук Р. Г.* Выбор показателей эффективности функционирования системы обеспечения оперативного командования специальными картами и фотодокументами о местности в оборонной операции ..... 47

**ТЕЛЕКОМУНИКАЦИЯ И ИНФОРМАТИЗАЦИЯ**

*Лебидь Е.В.* Применение цифровой системы фазовой автоподстройки частоты с целью синхронизации сигналов в современных транспортных сетях передачи данных ... 52

**АРТИЛЛЕРИЙСКОЕ ВООРУЖЕНИЕ**

*Макеев В. И., Пушкарев Ю. И., Мартиненко С. А., Пономаренко С. О.* Пути повышения точности составления таблиц стрельбы ..... 57

**ВОССТАНАВЛИВАЕМОСТЬ, РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ**

*Шишанов М. А., Мельник Б. А., Кобяков Л. И.* Обеспечение восстанавливаемости и ремонтпригодности машин военного назначения ..... 67

**ИНФОРМАЦИЯ** ..... 72

Издание журнала поддерживают:



**ВООРУЖЕНИЕ  
ВООРУЖЕННЫХ СИЛ  
УКРАИНЫ**



**ДЕПАРТАМЕНТ  
ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ  
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ УКРАИНЫ**

УДК 623.44

О.І. БІЛЕНКО, канд. техн. наук, Ю.О. БЕЛАШОВ, інж.  
(Національна академія НГУ, м. Харків)

## ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СНАЙПЕРСЬКОЇ ГВИНТІВКИ ДЛЯ СИЛ БЕЗПЕКИ

Розроблено алгоритм визначення раціональних значень технічних характеристик снайперської гвинтівки для сил безпеки, що для отримання заданих значень показників надійності та оперативності виконання вогневого завдання снайпером дозволяє використати як можливості вибору кращого сполучення «гвинтівка – оптичний приціл», так і можливості зведення до мінімуму кута вильоту кулі.

Разработан алгоритм определения рациональных значений технических характеристик снайперской винтовки для сил безопасности, который для получения заданных значений показателей надежности и оперативности выполнения огневой задачи позволяет использовать как возможности выбора лучшего сочетания «винтовка – оптический прицел», так и возможности сведения к минимуму угла вылета пули.

The authors of the article developed the technique of rational value determination of technical characteristics of the sniper rifle for the security forces. This technique allows to use either the opportunity to choose the best combination «rifle – telescopic sight» or the opportunity to minimize the gun jump in order to ensure the setpoints of shooting effectiveness indicator.

Важливість і необхідність застосування снайперів силами безпеки (СБ) держави не викликають сумніву. Про це свідчать як причини введення снайперів у підрозділи СБ різних країн, так і практика застосування цих підрозділів протягом останніх десятиріч [1–5].

Завданнями снайпера СБ є звільнення заручників, знешкодження злочинця, який забарикадувався, боротьба з повітряним тероризмом, боротьба з захопленням потягів, автобусів та інших транспортних засобів, затримання особливо небезпечних злочинців, контрснайперська боротьба, захист високопоставлених осіб та важливих свідків тощо [6, 7]. Більшість з наведених завдань пов'язана з необхідністю збереження життя осіб, що знаходяться поблизу цілі, тому відповідні вогневі завдання мають виконуватися з максимальною надійністю та оперативністю, що унеможливить застосування злочинцем зброї, вибухових пристроїв або здійснення інших небезпечних дій. При цьому іноді виникає необхідність

здійснення декількох пострілів за обмежений час для підвищення ймовірності ураження цілі (шляхом підвищення ймовірності влучення в ціль чи через накопичення уражаючого ефекту в разі стрільби по захищеній цілі) або ураження цілі, яку розташовано за перешкодою, що необхідно попередньо зруйнувати (скло автомобіля, вітрини тощо) [5, 8].

Надійність виконання вогневого завдання (ВЗ) напряму пов'язана з точністю стрільби, яка залежить від її купчастості та влучності. Питанням підвищення купчастості стрільби снайперської зброї присвячено ряд робіт [9–11], але зазначені в них заходи пов'язані з технологіями проектування та виробництва зброї і боєприпасів, що робить їх недоступними на рівні підрозділу й тим більш кінцевого користувача – снайпера. Точність наведення на ціль та оперативність виконання ВЗ зазвичай підвищуються шляхом підготовки снайпера, тобто через тренування. При цьому вибір складових зброї для виконання ВЗ здійснюється

© О.І. БІЛЕНКО, Ю.О. БЕЛАШОВ, 2015

інтуїтивно, без комплексного аналізу їхніх технічних характеристик, що не завжди є актуальним.

Останні дослідження свідчать про наявність залежностей між технічними характеристиками снайперської гвинтівки (СГ) та оптичного прицілу (ОП) та показниками ефективності стрільби [12]. Так, підвищення кратності ОП (до певного значення) дозволяє підвищувати точність наведення зброї на ціль [13], а збільшення поля зору ОП – зменшити час на виконання ВЗ снайпером [14].

Позитивно на оперативність виконання ВЗ впливає також зменшення кута вильоту кулі. Зменшення кута вильоту кулі дозволяє підвищити ймовірність ураження цілі при фіксованій ймовірності ураження через підвищення точності наведення зброї [15].

При цьому виникає певне протиріччя: точність наведення на ціль залежить від кратності ОП прямо, а час виконання ВЗ – обернено (через звуження кута поля зору ОП). Отже, виникає необхідність у розробці підходів до визначення технічних характеристик снайперської зброї, що забезпечать потрібні значення показників ефективності стрільби.

Таким чином, дану роботу присвячено підвищенню влучності стрільби та оперативності виконання ВЗ снайпером за рахунок визначення раціональної кратності оптичного прицілу та шляхом зменшення кута вильоту, а також узгодження величин кутів вильоту та поля зору прицілу.

Мета статті – розроблення алгоритму обґрунтування раціональних значень технічних характеристик снайперської гвинтівки для сил безпеки.

Розглянемо випадок, коли необхідно забезпечити виконання ВЗ із заданими мінімальними надійністю ( $W \geq W_{\min}$ ) та оперативністю ( $T \leq T_{\max}$ ). При цьому необхідно здійснення декількох пострілів за обмежений час.

Для розв'язання задачі необхідно визначити такі характеристики влучності та купчастості стрільби, що при стрільбі по цілі заданих розмірів на заданій відстані забезпечать потрібне

значення ймовірності ураження цілі. Крім того, треба визначити таке значення кута поля зору ОП, яке забезпечує необхідні швидкість пошуку й захоплення цілі в поле зору, а також швидкість прицілювання. Якщо час на пошук і захоплення цілі в поле зору та прицілювання перевищують ліміт часу на виконання ВЗ, виникає необхідність у виключенні втрати цілі з поля зору при пострілі. Це можливо шляхом розширення кута поля зору або зменшення кута вильоту кулі.

При формулюванні умов ВЗ необхідно визначити, що є більш важливим: надійність чи оперативність його виконання. У залежності від пріоритетів формується шлях вирішення задачі.

Обмеження щодо технічної купчастості стрільби снайперських гвинтівок, а також точності прицілювання та кутів поля зору при заданих кратностях існуючих (доступних) прицілів ускладнюють розв'язання задачі. Також точність наведення зброї на ціль залежить від кратності прицілу прямо, а кут поля зору – обернено. У результаті поставлена задача може не мати рішення при використанні існуючих зразків озброєння. У такому випадку доцільно розглянути питання щодо пом'якшення умов ВЗ, зокрема зниження граничного значення показника ефективності стрільби, що є менш важливим.

У відповідності до зазначеного вище розроблено алгоритм визначення досяжних значень технічних характеристик снайперської гвинтівки для СБ. Передбачається, що оптичний приціл є панкратичним або доступно декілька прицілів з постійною кратністю та різними характеристиками кратності та кута поля зору. Блок-схему алгоритму наведено на рис. 1.

У блоці 2 алгоритму вводяться вихідні дані, до яких відносяться: висота цілі  $Y$ , м; ширина цілі  $Z$ , м; відстань до цілі  $X$ , м; кількість пострілів  $n$ , од.; необхідна кількість влучень у ціль для виведення її з ладу  $V$ , од.; характеристика технічного розсіювання влучень у площині цілі  $\sigma_T$ , м; мінімально припустима ймовірність ураження цілі  $W_{\min}$ ; максимальний

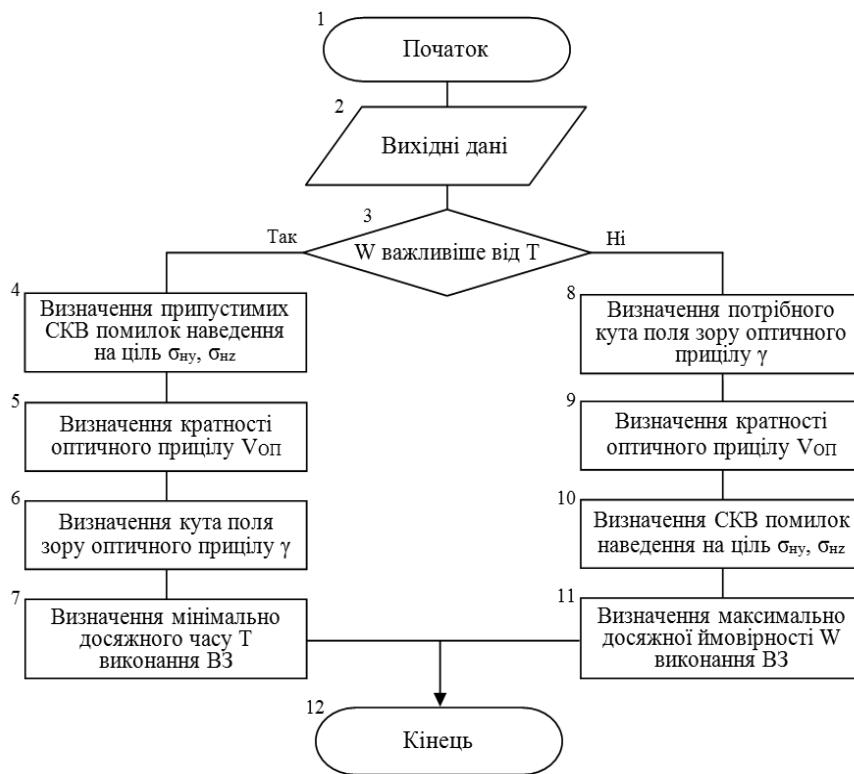


Рис. 1. Блок-схема алгоритму визначення досяжних значень технічних характеристик снайперської гвинтівки для сил безпеки

час на виконання вогневого завдання  $T_{\max}$ ; залежності помилок наведення зброї на ціль від кратності оптичного прицілу  $\Delta y(VOP)$ ,  $\Delta z(VOP)$ ; залежність кута поля зору оптичного прицілу від його кратності  $\gamma(VOP)$ ; залежності часу пошуку та захоплення в поле зору цілі від кратності ОП  $T_4(VOP)$  та часу прицілювання від кратності ОП  $T_7(VOP)$ ; кут вильоту кулі снайперської гвинтівки  $\beta$ , рад.

У залежності від пріоритету того чи іншого фактора (блок 3) здійснюється перехід до блоків 4 або 8.

У випадку пріоритетності ймовірності ураження цілі перед оперативністю виконання ВЗ у блоці 4 на основі заданих характеристик цілі, параметрів технічного розсіювання зброї, кількості здійснюваних пострілів та влучень у ціль, що забезпечують її ураження, а також заданого значення ймовірності ураження цілі визначаються припустимі середні квадратичні відхилення (СКВ) помилки наведення зброї на ціль за вертикаллю та за боковим напрямком.

У блоці 5 на основі залежності СКВ помилок наведення зброї на ціль від кратності оптичного прицілу визначається мінімальне значення кратності ОП, що відповідає попередньо визначеним значенням помилок наведення. В цьому разі з двох отриманих значень (за висотою та боковим напрямком) береться те, що є більшим.

У блоці 6 на основі залежності кута поля зору оптичного прицілу від його кратності визначається максимально досяжне поле зору ОП.

У блоці 7 на основі значення кута вильоту кулі снайперської гвинтівки, а також залежностей часу пошуку та захоплення в поле зору цілі та часу прицілювання від кратності ОП визначається мінімально досяжний час виконання ВЗ.

У випадку пріоритетності оперативності виконання ВЗ перед ймовірністю ураження цілі в блоці 8 на основі характеристик цілі та значення кута вильоту кулі снайперської гвинтівки визначається мінімально припустимий

кут поля зору ОП, що забезпечить залишення цілі в полі зору при пострілі.

У блоці 9 на основі залежності кута поля зору оптичного прицілу від його кратності визначається максимальна кратність ОП, що відповідає попередньо визначеному куту поля зору.

У блоці 10 на основі залежності помилок наведення зброї на ціль від кратності оптичного прицілу визначаються мінімальні помилки наведення на ціль, що відповідають попередньо визначеній кратності ОП.

У блоці 11 на основі заданих характеристик цілі, параметрів технічного розсіювання зброї, кількості здійснюваних пострілів та влучень у ціль, що забезпечують її ураження, а також знайдених помилок наведення на ціль розраховується максимально досяжна ймовірність ураження цілі.

Описаний алгоритм визначення досяжних значень технічних характеристик снайперської гвинтівки для СБ дозволяє проводити перевірку існуючого озброєння на придатність до виконання поставленого ВЗ, а також здійснювати порівнювальне оцінювання різноманітних сполучень «гвинтівка – оптичний приціл» з метою вибору найбільш вдалого.

Вище зазначено, що одним із шляхів підвищення оперативності та надійності виконання ВЗ є зменшення кута вильоту кулі, отже доцільно розглянути і цю можливість. У статті [15] наведено методику підвищення оперативності виконання ВЗ снайпером за рахунок узгодження кута вильоту кулі з кутом поля зору оптичного прицілу.

Поєднання зазначеної методики з алгоритмом, що розроблено у даній роботі, дозволяє отримати новий алгоритм – алгоритм визначення раціональних значень технічних характеристик снайперської гвинтівки для СБ, блок-схему якого показано на рис. 2.

Вихідними даними для зазначеного алгоритму є всі величини, що використовуються як вихідні дані для зазначених вище алгоритму та методики.

Завдяки введенню блока 9, в якому здійснюється узгодження кута вильоту кулі з кутом

поля зору оптичного прицілу, з'являється можливість залишення цілі в полі зору при пострілі, що позитивно відбивається на оперативності виконання ВЗ.

Блок 15 дозволяє максимально знизити величину потрібного кута поля зору ОП (блок 10), що, у свою чергу, дозволяє збільшити кратність прицілу, знизити помилки наведення зброї на ціль та підвищити ймовірність ураження цілі (блоки 11–13).

Таким чином, алгоритм визначення раціональних значень технічних характеристик снайперської гвинтівки для СБ максимально використовує наявні можливості, що дозволяє підвищити ймовірність одночасного отримання заданих значень обох показників ефективності стрільби (надійності та оперативності виконання ВЗ).

При цьому залишається можливість отримання результатів, що не задовольняють поставленому завданню. У такому разі необхідно переглянути вимоги до ефективності стрільби з метою їхнього пом'якшення.

### **Висновки та перспективи подальших досліджень**

1. Розроблено алгоритм визначення досяжних значень технічних характеристик снайперської гвинтівки для сил безпеки, який дозволяє проводити перевірку існуючого озброєння на придатність до виконання поставленого вогневого завдання, а також здійснювати порівнювальне оцінювання різноманітних сполучень «гвинтівка – оптичний приціл» та вибір найбільш вдалого з них.

2. Розроблено алгоритм визначення раціональних значень технічних характеристик снайперської гвинтівки для сил безпеки, який для отримання заданих значень показників надійності та оперативності виконання вогневого завдання снайпером дозволяє використати як можливості вибору кращого сполучення «гвинтівка – оптичний приціл», так і можливості зведення до мінімуму кута вильоту кулі.

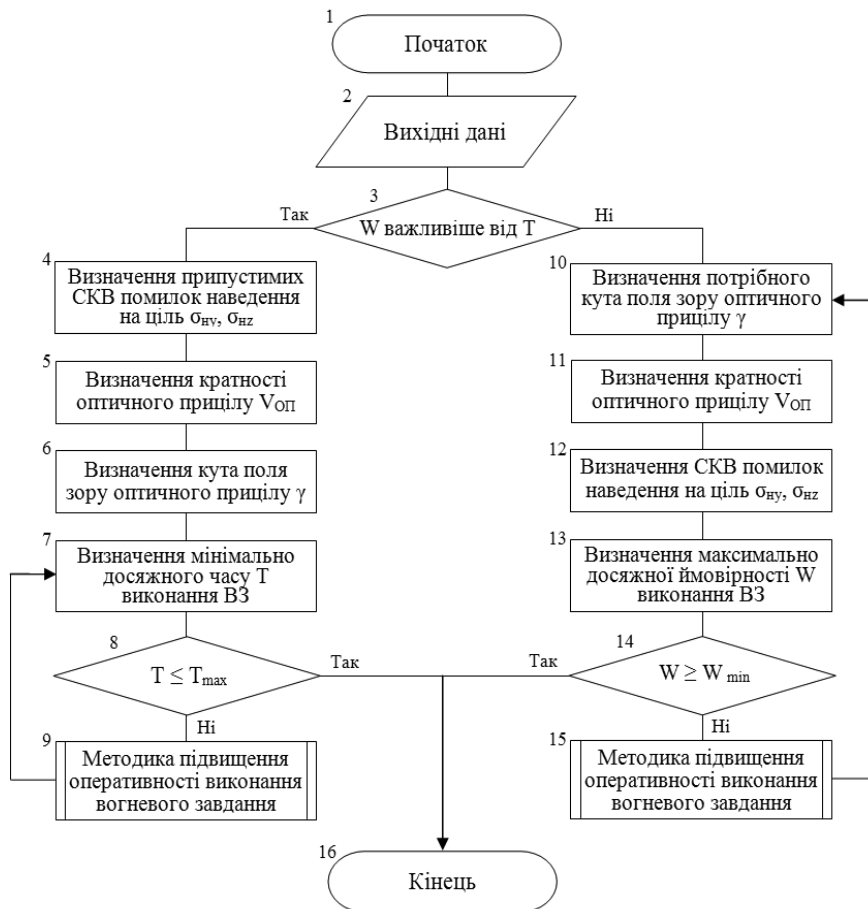


Рис. 2. Блок-схема алгоритму визначення раціональних значень технічних характеристик снайперської гвинтівки для сил безпеки

3. Отримані результати можуть використовуватися для формування комплексів «гвинтівка – оптичний приціл» під конкретний тип вогневого завдання, для прийняття рішення щодо закупівлі снайперського озброєння та для формування вимог до технічних характеристик снайперського озброєння, що проектується.

4. Напрямом подальшого дослідження є розвинення науково-методичного апарату формування вимог до інших типів зброї, що обладнуються оптичними прицілами.

### Список літератури

1. *Plaster, J.* The Ultimate Sniper / J. Plaster – Boulder: Paladin Press, 2007. – 617 p.
2. *Основи снайперського ремесла* [Електронний ресурс] // Спецназ.орг – 04.06.2013. – Режим доступу: [http://spec-naz.org/articles/others/osnovu\\_snaiperskogo\\_remesla/](http://spec-naz.org/articles/others/osnovu_snaiperskogo_remesla/).
3. *Терроризм. Ч. 2* [Електронний ресурс] // Анти-террористическая деятельность – 23.03.2014. – Режим доступу: <http://rus-antiterror.livejournal.com/31809.html>.
4. *Рязанов, О. Е.* История снайперского искусства / О.Е. Рязанов – М.: Витязь-Братишка, 2004. – 162 с.
5. *Тактика контртеррора* [Електронний ресурс] // Licsecurity.ru – 05.03.2015. – Режим доступу: [licsecurity.ru/antiterror/taktika-kontrterrora](http://licsecurity.ru/antiterror/taktika-kontrterrora).
6. *Біленко, О.І.* Тактико-технічні характеристики стрілецької зброї для сил охорони правопорядку, які підлягають регламентації / О. І. Біленко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2013. – № 2/10 (62). – С. 28-32.
7. *Біленко, О.І.* Шляхи підвищення ефективності виконання вогневих завдань снайпером

- сил охорони правопорядку / О.І. Біленко, Ю.О. Белашов // Зб. наук. праць Академії ВВ МВС України. – Харків: Академія ВВ МВС України, 2013. – вип. 2 (22). – С. 12-15.
8. *Бруксмит, П.* Искусство снайперской подготовки / П. Бруксмит – М.: Росмен-Пресс, 2004. – 192 с.
9. *Вонг, Гарольд Р.* Факторы точности винтовки / Гарольд Р. Вонг – Манчестер: Precision Shooting, 2001. – 215 с.
10. *Туктанов, А.Г.* Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия / А.Г. Туктанов – М.: Машиностроение, 2007. – 375 с.
11. *Данилин, Г.А.* Основы проектирования патронов к стрелковому оружию / Г. А. Данилин, В.П. Огородников, А.Б. Заволокин – СПб.: БГТУ, 2005. – 374 с.
12. *Конев, К.* Автомат как оружие снайпера? [Електронний ресурс] / К. Конев // Братишка. – 2002. – № 3. – Режим доступу: <http://www.hpbt.org/articles/samo.htm>
13. *Біленко, О.І.* Дослідження впливу кратності оптичного прицілу на ймовірність ураження цілі снайпером / О. І. Біленко, П.В. Пістряк, Ю.О. Белашов // Зб. наук. праць Військ. академії (м. Одеса). – Одеса: Військова академія (м. Одеса), 2015. – вип. 1 (3). – С. 60-68.
14. *Біленко, О.І.* Вплив характеристик оптичного прицілу на оперативність виконання вогневого завдання снайпером / О.І. Біленко, Ю.О. Белашов // Честь і закон. – 2015. – № 3. – С. 43-52.
15. *Біленко, О.І.* Підвищення оперативності виконання снайперських вогневих завдань силами безпеки шляхом зменшення кута вильоту кулі / О.І. Біленко, Ю.О. Белашов // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 3 (43). – С. 16-21.

УДК 623.983

**А.В. ДЕРЕПА**, канд. техн. наук (Центр. наук.-дослід. ін-т озброєння та військової техніки  
Збройних Сил України, м. Київ)

## ГІДРОАКУСТИЧНІ СТАНЦІЇ З БУКСИРУВАНИМИ АНТЕНАМИ ЗОСЕРЕДЖЕНОГО ТИПУ ТА ШЛЯХИ СТВОРЕННЯ НИМИ ДІАГРАМИ НАПРАВЛЕНОСТІ СПЕЦІАЛЬНОЇ ФОРМИ

Проведено дослідження щодо рішення задачі створення гідроакустичних станцій з буксируваними направленими антенами, їхніх особливостей, що знижують рівень бокових пелюсток у заданій просторовій області й забезпечують формування діаграми направленості з розкриттям основної пелюстки, яка притаманна заданому сектору спостереження.

Проведено исследование решения задачи создания гидроакустических станций с буксируемыми направленными антеннами, их особенностями, которые понижают уровень боковых лепестков в заданной пространственной области и обеспечивают формирование диаграммы направленности с раскрытием основного лепестка, который присущ данному сектору наблюдения.

Research is conducted in relation to the decision of task of creation of the hydroacoustic stations with the towed directed aeriels, their properties, that lower the level of lateral petals in the set spatial region and provide forming of diagram of orientation with opening of basic petal, what inherent to the set sector of supervision.

У комплексних системах «гідроакустичне озброєння – надводний корабель» застосовуються гідроакустичні станції (ГАС) з гідроакустичними антенами, які відрізняються за формою, розмірами, способами формування та управління характеристиками направленості, розміщенням на надводному кораблі (НК) та умовами експлуатації. За способом розміщення антен ГАС НК поділяються на ГАС з корпусними антенами (стаціонарно встановлюються на корпусі корабля) та ГАС з антенами змінної глибини (АЗГ). Останні поділяються на ГАС з буксируваними та ГАС з опускними гідроакустичними антенами.

ГАС з антенами змінної глибини забезпечують необхідну ефективність системи «гідроакустичне озброєння – надводний корабель» в таких сигнально-завадових і гідроакустичних умовах, коли можливості ГАС з корпусними гідроакустичними антенами суттєво знижені. ГАС з антенами змінної глибини мають такі переваги в порівнянні з ГАС з корпусними антенами:

- забезпечення застосування кращих гідроакустичних умов для виявлення цілей, у тому числі

цілей, що знаходяться нижче шару стрибка швидкості звуку;

- можливість автономного ремонту та модернізації активно-пасивних антен змінної глибини без постановки НК у док.

Гідроакустичні антени з буксируваними АЗГ можуть мати конструкції зосередженого (об'ємного) типу з жорсткими зв'язками між елементами та конструкції з гнучкими зв'язками, так звані гнучкі протяжні буксировані антени.

Однією з особливостей ГАС з буксируваними АЗГ є необхідність формування їхніми антенами характеристик направленості, що мають низький (0,1...3,0 %) рівень бокових пелюсток у вертикальній площині в режимі прийому в секторах кутів, під якими антена «бачить» гвинти корабля-носія ГАС з АЗГ. У цьому разі ширина основної пелюстки діаграми направленості повинна мати задану величину.

Практичне рішення цієї задачі є однією з необхідних умов забезпечення тактико-технічних характеристик гідроакустичного озброєння, зокрема того, що створюється за кораблебудівними

програмами (у тому числі з будівництва корвета проекту 58250).

При створенні ГАС з АЗГ з метою збільшення ефективності їхньої дії в режимі прийому необхідно вживати ряд додаткових заходів, що направлені на зменшення впливу шумів корабля-носія на роботу АЗГ. До таких заходів відносяться [1]: використання акустичних екранів, розміщених у верхній частині буксированого тіла; використання характеристик спеціальної форми, які забезпечують придушення завад, що надходять з верхньої півсфери. Останній захід є одним з найефективніших. Тому розробці фізичних алгоритмів його дії та техніки практичної реалізації приділяється доволі значна увага. У роботах [2–5] аналізуються підходи до критеріїв ефективності та фізичних алгоритмів, що відповідають їм. Сучасним методам технічної реалізації таких алгоритмів присвячено роботу [4].

**Метою** даної статті є проведення досліджень, що направлені на рішення задач створення ГАС з буксированими антенами з такою формою діаграми направленості, яка має в разі заданої ширини основної пелюстки в середньому найменший рівень поля в заданій просторовій області бокових пелюсток (оптимальні антени).

Як вихідне співвідношення при рішенні вказаних задач використаємо вираз для середньої діаграми направленості (за потужністю) антени. Під нею будемо розуміти математичне сподівання випадкової діаграми направленості.

Вибір кількісних характеристик параметрів досліджуваних антен обмежений тими найбільш цікавими в прикладному відношенні величинами, що можуть бути технічно реалізованими в разі побудови антен з врахуванням їхнього використання в складі ГАС з буксированими антенами.

Розглянемо лінійну дискретну антену, яку утворено з  $n$  елементів. Нехай діаграми направленості всіх елементів рівні та однаково орієнтовані в просторі (ця умова виконується практично для всіх буксированих антен ГАС, оскільки тут ми обмежувемось розглядом антени в кутомірній площині), а коефіцієнти електричного збудження елементів мають випадковий розкид відносно їхніх середніх значень. У цьому разі будемо вважати, що амплітудні та фазові похибки коефіцієнтів збудження незалежні та стаціонарні, а просторове положення елементів антени строго фіксоване й точно відоме. Подамо випадкові коефіцієнти збудження в тому виді, як у роботі [2]:

$$A_{i \text{ еун}} = |a_i| (1 + \sigma \xi_i) e^{j(\varphi_i + \Delta\varphi_i)}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

де  $|a_i|$  – середнє значення (математичне очікування) модулів коефіцієнтів збудження елементів антени;  $\sigma$  – середнє квадратичне значення відносного відхилення модуля від середньої величини;  $\xi_i$  – дійсні випадкові величини з математичним очікуванням  $M\{\xi_i\} = 0$  та дисперсією  $D\{\xi_i\} = 1$ ;  $\varphi_i$  – середні значення аргументів коефіцієнтів збудження елементів антени;  $\Delta\varphi_i$  – випадкові похибки аргументу, математичне очікування яких  $M\{\Delta\varphi_i\} = 0$ ,  $M\{\sin \Delta\varphi_i\} = 0$ , а дисперсія  $D\{\Delta\varphi_i\}$  є постійною для всіх елементів.

Вважаючи випадкові величини  $\xi_i$ ,  $\Delta\varphi_i$  взаємно незалежними та з врахуванням прийнятого в роботі [2] визначення середньої діаграми направленості, одержимо:

$$\bar{R} = (M\{\cos \Delta\varphi\})^2 |\gamma(\bar{e})|^2 \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^n a_i a_m e^{k\bar{l}(\bar{\rho}_i - \bar{\rho}_m)} + [1 + \sigma^2 - (M\{\cos \Delta\varphi\})^2] |\gamma(\bar{e})|^2 \sum_{i=1}^n |a_i|^2, \quad (2)$$

де  $\bar{R} = M\{|R_{\text{сн}}|^2\}$  – математичне сподівання квадрата модуля випадкової діаграми направленості (середня ненормована діаграма направленості за потужністю);  $\gamma(\bar{l})$  – діаграма направленості окремого елемента антени (у загальному випадку комплексна);  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  – хвильове число;  $\bar{l}$  – одиничний вектор напрямку, що розглядається;  $\bar{\rho}_i$  – радіус-вектор, що характеризує просторове положення елементів антени.

Узявши до уваги раніше зроблені припущення про коефіцієнти збудження елементів антени, індекси при  $\Delta\varphi$  випущено.

Друга складова у виразі (2) являє собою деяку розсіяну потужність, що визначається випадковими помилками збудження та залежить від напрямку як діаграма направленості окремого елемента антени [3]. Припустимо, що розсіяна потужність постійна за всіма напрямками. У цьому випадку рішення поставленої задачі буде достатньо загальним, тому що за такої умови рівень розсіяної потужності в області бокового поля антени буде вищим, ніж якщо б розсіяна потужність співпадала за напрямком з направленістю окремого елемента (за умови збігу напрямків основних пелюсток діаграм

направленості антени та її елементів, що, як правило, має місце в буксируваних зосереджених антенах ГАС у кутомірній площині).

З урахуванням сказаного потужність прийманя завад у деякій просторовій області бокових пелюсток дискретної антени буде становити

$$P_{\sigma} = \int_{\Delta\Omega} \bar{R} d\Omega = (M\{\cos\Delta\varphi\})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^n a_i a_m^* h_{im} + \chi\Delta \sum_{i=1}^n |a_i|^2, \quad (3)$$

де

$$h_{im} = \int_{\Delta\Omega} f(\Omega) \left| \gamma(\vec{l}) \right|^2 e^{jk\vec{l}(\vec{\rho}_i - \vec{\rho}_m)} d\Omega; \quad (4)$$

$\Delta = 1 + \sigma^2 - (M\{\cos\Delta\varphi\})^2$ ;  $f(\Omega)$  – безрозмірна функція, що визначає розподіл завад за тілесним кутом;  $\Delta\Omega$  – елемент тілесного кута;  $\chi = \int_{\Delta\Omega} f(\Omega) d\Omega$ ; \* – знак комплексно-спряженої величини.

Задача в цьому випадку зводиться до знаходження такого розподілу збуджень  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , який за умови  $\left| \sum_{i=1}^n a_i \right| = z = const$  забезпечує мінімум потужності  $P_{\sigma}$  [4].

Задамо ще одну додаткову умову, яка забезпечує формування діаграми направленості з розкриттям основної пелюстки, що необхідно при рішенні задач пеленгування, супроводу, визначення параметрів руху. Нехай ширина основної пелюстки діаграми направленості антени, що розглядається, наприклад, за першими нудями, наперед відома та фіксується в напрямках  $\vec{l}_{01}, \vec{l}_{02}$ . Цю умову може бути записано таким чином:

$$\sum_{i=1}^n a_i e^{jk\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i} = 0, \quad \sum_{i=1}^n a_i e^{jk\vec{l}_{02}\vec{\rho}_i} = 0. \quad (5)$$

Тоді функціонал для знаходження згідно із способом Лагранжа [4] можна записати у вигляді

$$\Phi(a_1, a_2, \dots, a_n) = (M\{\cos\Delta\varphi\})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^n a_i a_m^* h_{im} + \chi\Delta \sum_{i=1}^n |a_i|^2 + \mu_1 \left( \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^n a_i a_m^* - z \right) + \mu_2 \sum_{i=1}^n a_i e^{jk\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i} + \mu_3 \sum_{i=1}^n a_i e^{jk\vec{l}_{02}\vec{\rho}_i}. \quad (6)$$

де  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  – множники Лагранжа.

Приймемо  $a_i = R_e a_i + jI_m$ ;  $a_i = A_i + jB_i$ ;  $h_{im} = x_{im} + jy_{im}$ .

Тоді, узявши до уваги, що  $\sum_{i=1}^n a_i e^{jk\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i} = 0$ , маємо:

$$\sum_{i=1}^n a_i e^{jk\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i} = \sum_{i=1}^n [A_i + jB_i] [\cos(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i) + j \sin(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i)] = \sum_{i=1}^n [A_i \cos(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i) + jB_i \cos(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i) + jA_i \sin(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i) - B_i \sin(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i)] = 0.$$

Вираз (6) можна переписати таким чином:

$$\begin{aligned} \Phi(a_1, a_2, \dots, a_n) = & (M\{\cos\Delta\varphi\})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^n a_i a_m^* (x_{im} + jy_{im}) + \\ & \chi\Delta \sum_{i=1}^n |a_i|^2 + \mu_1 \sum_{i=1}^n \sum_{m=1}^n (a_i a_m^* - z) + \\ & + \mu_2 \sum_{i=1}^n [A_i \cos(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i) + jB_i \cos(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i) + \\ & + jA_i \sin(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i) - B_i \sin(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_i)] + \\ & + \mu_3 \sum_{i=1}^n [A_i \cos(k\vec{l}_{02}\vec{\rho}_i) + jB_i \cos(k\vec{l}_{02}\vec{\rho}_i) + \\ & + jA_i \sin(k\vec{l}_{02}\vec{\rho}_i) - B_i \sin(k\vec{l}_{02}\vec{\rho}_i)]. \quad (7) \end{aligned}$$

Подамо  $\Phi(a_1, a_2, \dots, a_n)$ , як дійсну функцію  $2n$  дійсних змінних, зробивши підстановку  $a_i = R_e a_i + I_m a_i$ . Коефіцієнти збудження в цьому випадку можуть бути визначені із системи:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Phi}{dR_e a_m} &= 0 \\ \frac{d\Phi}{dI_m a_m} &= 0, \quad m = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\frac{d\Phi}{da_m} = \sum_{i=1}^n (A_i x_{im} - jB_i x_{im} + jA_i y_{im} + B_i y_{im}) + 2\chi\Delta^2 A_m + \mu_1' \sum_{i=1}^n (A_i - jB_i) + \mu_2' [\cos(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_m) + j \sin(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_m)] + \mu_3' [\cos(k\vec{l}_{02}\vec{\rho}_m) + j \sin(k\vec{l}_{02}\vec{\rho}_m)] = 0, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Phi}{db_m} = & \sum_{i=1}^n (B_i x_{im} + jA_i x_{im} - A_i y_{im} + jB_i y_{im}) + 2\chi\Delta^2 B_m + \mu_1' \sum_{i=1}^n (B_i + jA_i) - \\ & - \mu_2' [\sin(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_m) - j \cos(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_m)] - \\ & - \mu_3' [\sin(k\vec{l}_{02}\vec{\rho}_m) - j \cos(k\vec{l}_{02}\vec{\rho}_m)] = 0. \quad (10) \end{aligned}$$

Виділимо з виразів (9), (10) дійсні та уявні частини:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n (A_i x_{im} + B_i y_{im}) + 2\chi\Delta^2 A_m + \mu_1' \sum_{i=1}^n A_i + \mu_2' \cos(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_m) + \mu_3' \cos(k\vec{l}_{02}\vec{\rho}_m) &= 0, \\ \sum_{i=1}^n (B_i x_{im} - A_i y_{im}) + 2\chi\Delta^2 B_m + \mu_1' \sum_{i=1}^n B_i - \mu_2' \sin(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_m) - \mu_3' \sin(k\vec{l}_{02}\vec{\rho}_m) &= 0, \\ \sum_{i=1}^n (A_i y_{im} - B_i x_{im}) - \mu_1' \sum_{i=1}^n B_i + \mu_2' \sin(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_m) + \mu_3' \sin(k\vec{l}_{02}\vec{\rho}_m) &= 0, \\ \sum_{i=1}^n (A_i x_{im} + B_i y_{im}) + \mu_1' \sum_{i=1}^n A_i + \mu_2' \cos(k\vec{l}_{01}\vec{\rho}_m) + \mu_3' \cos(k\vec{l}_{02}\vec{\rho}_m) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\text{де } \Delta^2 = \frac{\Delta}{(M\{\cos\Delta\varphi\})^2}; \quad \mu_1' = \frac{\mu_1}{(M\{\cos\Delta\varphi\})^2};$$

$$\mu_2' = \frac{\mu_2}{(M\{\cos\Delta\varphi\})^2}; \quad \mu_3' = \frac{\mu_3}{(M\{\cos\Delta\varphi\})^2}.$$

Система рівнянь (11) є невизначеною.

Якщо записати  $\mu \sum_{i=1}^n a_i = \mu \sum_{i=1}^n A_i + j\mu \sum_{i=1}^n B_i$  то, не втрачаючи цілісності та враховуючи, що  $a_i$  шукаються з точністю до постійного множника, можливо вважати  $\mu'_1 \sum_{i=1}^n A_i = -1$ ;  $\mu'_1 = 1$ .

Остаточну систему з метою визначення оптимального розподілу збуджень може бути подано у вигляді

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n (A_i x_{im} + B_i y_{im}) + 2\chi \Delta^2 A_m + \mu'_2 \cos(k\bar{l}_{01}\bar{\rho}_m) + \mu'_3 \cos(k\bar{l}_{02}\bar{\rho}_m) &= 1, \\ \sum_{i=1}^n (B_i x_{im} - A_i y_{im}) + 2\chi \Delta^2 B_m + \sum_{i=1}^n B_i - \mu'_2 \sin(k\bar{l}_{01}\bar{\rho}_m) - \mu'_3 \sin(k\bar{l}_{02}\bar{\rho}_m) &= 0, \\ \sum_{i=1}^n (A_i y_{im} - B_i x_{im}) - \sum_{i=1}^n B_i + \mu'_2 \sin(k\bar{l}_{01}\bar{\rho}_m) + \mu'_3 \sin(k\bar{l}_{02}\bar{\rho}_m) &= 0, \\ \sum_{i=1}^n (A_i x_{im} + B_i y_{im}) + \mu'_2 \cos(k\bar{l}_{01}\bar{\rho}_m) + \mu'_3 \cos(k\bar{l}_{02}\bar{\rho}_m) &= 1, \end{aligned} \right\} (12)$$

де  $A_i = R_e a_i$ ;  $B_i = I_m a_i$ ;  $\Delta^2 = \frac{1 + \sigma^2 - (M\{\cos \Delta\varphi\})^2}{(M\{\cos \Delta\varphi\})^2}$ ;

$$x_{im} = R_e \int_{\Delta\Omega} |\gamma(\bar{l})|^2 f(\Omega) e^{jk\bar{l}(\rho_i - \rho_m)} d\Omega; \quad (13)$$

$$y_{im} = I_m \int_{\Delta\Omega} |\gamma(\bar{l})|^2 f(\Omega) e^{jk\bar{l}(\rho_i - \rho_m)} d\Omega. \quad (14)$$

Систему (12) може бути використано з метою знаходження коефіцієнтів збудження, введення яких у розкритті дискретної антени забезпечує зниження рівня бокового поля в деякому наперед заданому просторовому секторі  $\Delta\Omega$  й фіксацію ширини основної пелюстки діаграми направленості в напрямках  $\bar{l}_{01}$ ,  $\bar{l}_{02}$  за наявності випадкових помилок збудження.

На рис. 1 наведено розрахункову середню діаграму направленості лінійної дискретної антени, що набрано з  $2n = 8$  елементів, розподіл збуджень за апертурою якої одержано шляхом розв'язку системи рівнянь (12). Аналіз наведених кривих показує, що рівень бокових пелюсток у межах просторового сектора  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  (сектор придушення) у середньому не перевищує -36 дБ, а розкриття основної пелюстки діаграми направленості за кутах  $\alpha_{01}$ ,  $\alpha_{02}$  відповідає заданим значенням. При цьому втрати коефіцієнта концентрації, що визначені як відношення середнього коефіцієнта концентрації шуканої антени до середнього коефіцієнта концентрації

ідентичної їй рівноамплітудної антени, не перевищують 4 %. Чутливість до випадкових помилок збудження досліджуваної антени із середньою діаграмою направленості розраховано згідно з роботою [3] і складає  $G_{cp} = 0,132$ , що всього на 5,6% вище такого ж параметра для синфазної антени з рівномірним збудженням, що має мінімальну чутливість до випадкових помилок.

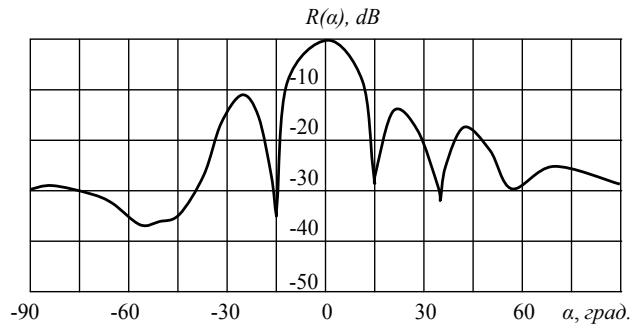


Рис. 1. Розрахункова середня діаграма направленості лінійної дискретної антени, набраної із  $2n = 8$  елементів:

$$\begin{aligned} d &= 0,5 \lambda; \alpha_{01} = \alpha_{02} = 16^\circ; \alpha_1 = -48^\circ; \alpha_2 = -60^\circ; \\ \gamma(\alpha) &= \cos^4 \frac{\alpha}{2}; \Delta\alpha = \pm 0,1; \Delta\varphi = \pm 5^\circ \end{aligned}$$

Розрахункові чисельні значення коефіцієнтів збудження досліджуваної антени наведено нижче.

Зображена на рис. 1 розрахункова діаграма направленості свідчить, що розроблені математичні співвідношення дозволяють розрахувати такий розподіл збудження, введення якого за апертурою антени не тільки не знижує рівень бокових пелюсток у заданій просторовій області, але й забезпечує формування діаграми направленості з розкриттям основної пелюстки, яка необхідна для реалізації заданого сектора огляду. При цьому необхідно зауважити, що отримані вище рішення є частотозалежними й оптимізацію антени в межах робочої полоси частот ГАС за розробленою методикою може бути здійснено, наприклад, з використанням фільтрів мінімально-фазового типу, які реалізують оптимальний амплітудно-фазовий розподіл збуджень.

З метою здійснення такої оптимізації на рис. 2 показано блок-схему пристрою, що реалізує оптимальний розподіл збуджень стосовно умов роботи антени в широкій смузі частот. Власне пристрій

$N$	1	2	3	4	5	6	7	8
$\alpha_i$	0,46	0,97	0,87	0,75	0,64	0,89	0,96	0,53
$jb_i$	0,068	0,239	0,041	-0,056	0,058	0,036	0,181	-0,057

складається з  $N$  каналів, в кожний з яких входять ідентичні гідроакустичні приймачі, ідентичні узгоджуючі пристрої та чотириполосні кола, що реалізують потрібний розподіл збуджень. Формування діаграми направленості відбувається в підсумовуючому пристрої, куди надходять сигнали з виходу кожного каналу.

Для реалізації частотнозалежного амплітудно-фазового розподілу в загальному випадку можна використовувати чотириполосники немінімально-фазового типу, що являють собою ланцюгове з'єднання чотириполосника мінімально-фазового типу та фазового чотириполосника, які реалізують відповідно задані амплітудні й фазові розподіли. При цьому вихідний амплітудно-фазовий розподіл антени треба перетворити до фізично реалізованого виду (фазові характеристики повинні бути функціями частоти, що ростуть) шляхом помноження його компонент на неперервну комплексну функцію дійсного аргументу.

Таким чином є очевидним, що практична реалізація частотнозалежного амплітудно-фазового розподілу збуджень, що покращує направленість власності ГАС з буксируваною АЗГ, пов'язана з розміщенням у буксируваному пристрої АЗГ значного об'єму апаратури або вимагає різкого збільшення числа струмонесучих жил кабель-троса для обробки інформації від антени на борту НК. Але і перша, і друга умови є такими, що важко реалізуються.

Певного спрощення чотириполосників, що реалізують частотнозалежний амплітудно-фазовий розподіл збуджень, можливо досягнути, якщо виключити з розгляду амплітудно-фазовий розподіл та зупинитись тільки на амплітудному. Це бажано й тому, що більшість відомих на сьогодні ГАС з буксируемими антенами в довільному перерізі кутотірної площини є синфазними, завдяки чому відсутня необхідність у фазозсувних колах в кожному каналі антени. Таке рішення задачі оптимізації ГАС з буксируемими антенами дозволяє виключити фазовий фільтр з чотириполосника, що

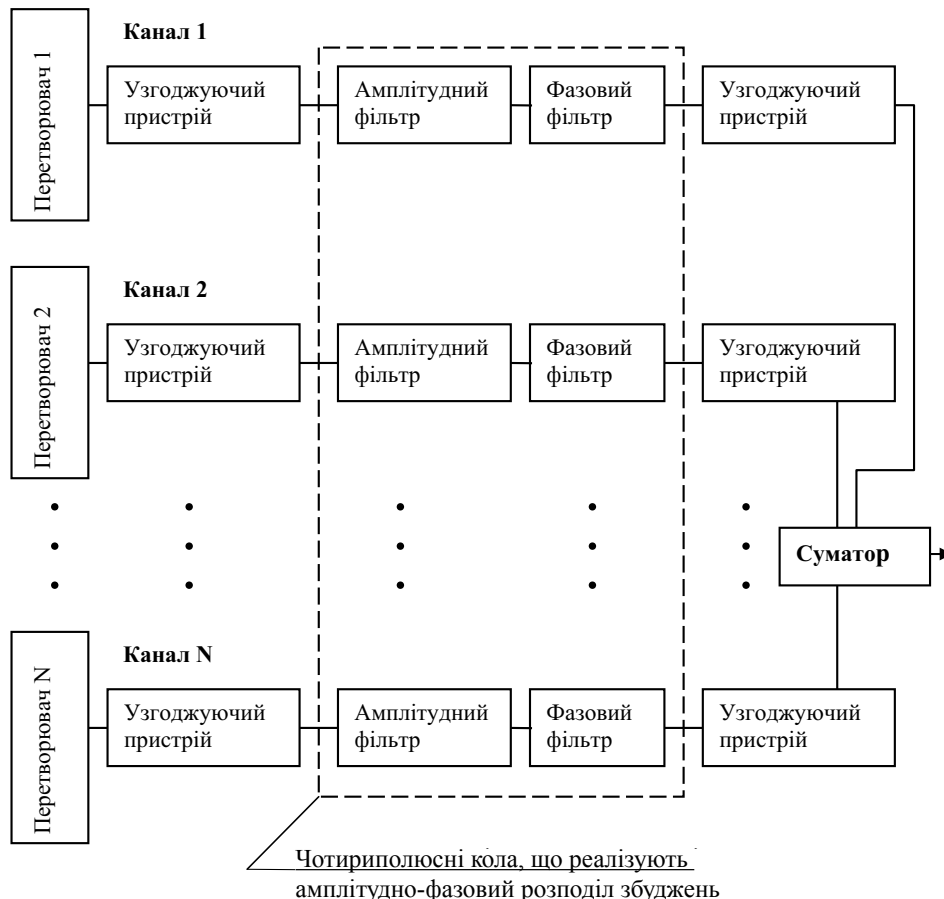


Рис. 2. Блок-схема пристрою, який реалізує оптимальний розподіл збуджень

реалізує потрібний розподіл збуджень, і тим самим суттєво скоротити об'єм апаратури, яка розміщується в буксированому пристрої.

Технічна реалізація амплітудного розподілу збуджень, що оптимізує антену на одній частоті, у цьому випадку може бути досягнута простими засобами, наприклад, за допомогою змішаного (послідовно-паралельного) електричного з'єднання елементів антени, а також за допомогою дільників напруг на основі резисторів, конденсаторів.

Крім цього, у випадку, якщо смуга приймального тракту ГАС не перевищує  $\Delta f_p = (10 - 15)\%$ , оптимізація гідроакустичної антени на одній, наприклад, середній частоті смуги з використанням тільки амплітудного розподілу збуджень виправдана саме завдяки різкому зменшенню об'єму апаратури, яка забезпечує формування діаграми направленості.

При цьому необхідно мати на увазі, що втрати в заводській частоті ГАС з буксированою антенною при її оптимізації з використанням тільки амплітудного розподілу будуть дещо більшими, ніж при використанні оптимального амплітудно-фазового розподілу. Підтвердженням цьому служать розрахункові значення параметрів  $\eta$  і  $\xi_{\text{бок}}$ , що наведені нижче та характеризують відповідно втрати коефіцієнта концентрації та середній рівень бокових пелюсток у межах сектора придушення лінійної дискретної антени з  $2n = 8$  елементами, оптимізацію якого проведено з використанням обох розглянутих рішень.

Таким чином, дані, які наведено, свідчать про те, що рішення задачі оптимізації буксированих антен, яке ґрунтується на використанні амплітудно-фазового розподілу збуджень, забезпечує більшу ефективність при придушенні бокового поля (на 2,5–3 дБ). Водночас, внаслідок більшої простоти технічної реалізації та малого програшу з ефективності доцільним виступає й друге рішення, ґрунтоване на використанні тільки амплітудного розподілу.

## Висновок

Розроблено алгоритм створення гідроакустичної станції з антенами змінної глибини зосередженого типу, практична реалізація якого дозволяє формувати такі направлені властивості антен у вертикальній площині в режимі прийому, при яких для заданої ширини основної пелюстки діаграми направленості рівень бокового поля є найменшим у секторі дії на антени змінної глибини (завади корабля-буксировальника гідроакустичної станції), джерелом яких є гвинти. Запропоновано технічні шляхи практичної реалізації амплітудно-фазових розподілів, що необхідно мати в такій антені, та визначено втрати в ефективності гідроакустичної станції з такими антенами при їхній реалізації в гідроакустичній станції.

## Список літератури

1. *Корякин Ю.А.* Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы / Ю.А. Корякин, С.А. Смирнов, Г.В. Яковлев – СПб : Наука, 2004. – 410 с.
2. *Лейко Н.С.* О статических свойствах диаграмм направленности и выборе полевых параметров Дольф-Чебышевских решеток. – В кн.: Антенны. – М. : Связь, 1971. – № 12. – С. 3-12.
3. *Жуков В.Б.* Теория синтеза и оптимизации антенн / В. Б. Жуков. – СПб : Элмор, 2001. – 162 с.
4. *Клячкин В.И.* Алгоритмы адаптивной обработки в режиме шумопеленгования для протяженной бортовой антенны / В. И. Клячкин, Г. В. Лоскутова, И. А. Селезнев // Гидроакустика. – 2001. – № 2. – С. 53–61.
5. *Лисс А.Р.* Базовые вычислительные средства для цифровой обработки сигналов в системах реального времени / А. Р. Лисс, А. В. Рыжиков // Известия ГЭТУ. Информатика, управление и компьютерные технологии. – СПб : ГЭТУ (ЛЭТИ). – 2003. – Вып. 1. – С. 20–30.

$2n = 8; d = 0,5 \lambda; \alpha_{01} = 15^\circ; \alpha_1 = 45^\circ; \alpha_2 = 90^\circ; \gamma(\alpha) = 1; \Delta\alpha = \pm 0,1; \Delta\varphi = 5^\circ$		
Параметр	Антенна з оптимальним амплітудно-фазовим розподілом	Антенна з оптимальним амплітудним розподілом
$\eta$	0,912	0,86
$\xi_{\text{бок}}$ (середній рівень, dB)	36-37	32,4-32,9

УДК 623.983

А.В. ДЕРЕПА, канд. техн. наук (Центр. научн.-исслед. ин-т вооружения и военной техники, г. Киев)

## ГИДРОЛОГО-АКУСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОРСКОЙ СРЕДЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ «ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЕ ВООРУЖЕНИЕ – НАДВОДНЫЙ КОРАБЛЬ»

Обосновано структурное построение комплексной системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Исходя из задачи систематизированного исследования условий ее эксплуатации с целью повышения эффективности, в работе рассматривается влияние гидролого-акустических особенностей морской среды на работу этой системы и обосновывается ее построение.

Обґрунтовано структурну побудову комплексної системи «гидроакустичне озброєння – надводний корабель». Виходячи зі задачі систематизованого дослідження умов її експлуатації з метою підвищення ефективності, в роботі розглядається вплив гідролого-акустичних особливостей морського середовища на роботу цієї системи та обґрунтовується її структурна побудова.

Coming from the task of the systematized research of external environments of the complex system the «hydroacoustic armament - surface vessel» with the purpose of rise of its efficiency, in work, is considered influencing of hydrologic-acoustic features of marine environment to work of this system and its structural construction is grounded.

Комплексная система «гидроакустическое вооружение – надводный корабль» предназначена для решения в нижней (подводной) полусфере в основном тех же задач по освещению обстановки, которые радиолокационные системы решают в верхней (воздушной) полусфере. При этом следует отметить, что определенная аналогия между гидроакустическими и радиолокационными системами справедлива только на уровне принципов их действия, стандартных процедур обработки сигналов и используемых средств отображения полученной информации. В то же время необходимо выделить и ряд фундаментальных отличий. К ним необходимо отнести следующее. Во-первых, это условия распространения гидроакустических сигналов, которые в значительной мере определяются гидролого-акустическими особенностями морских сред Мирового океана. Во-вторых, это методы излучения и приема гидроакустических сигналов, состоящие в том, что в гидроакустических системах, в отличие от радиолокационных, осуществляется не только управляемое распределение энергии в окружающем пространстве, но и преобразование одного вида энергии в другой, а именно: электрической энергии в механическую, а механической – в акустическую

в режиме излучения и акустической энергии в механическую, а механической – в электрическую в режиме приема. В-третьих, это характер помех работе гидроакустических систем: структурных, создаваемых кораблем-носителем гидроакустического вооружения, и морских, создаваемых морской средой и реверберацией моря.

Естественно, что в основу поиска рациональных структурных схем построения комплексной системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль» и их модернизации, а также исследования путей повышения эффективности этих систем должны быть положены знания, полученные в результате детального изучения перечисленных выше фундаментальных отличий.

**Гидролого-акустические особенности морской среды.** Гидроакустические волны являются единственным видом энергонесущих колебаний, способных распространяться в морской среде на большие расстояния. При этом они могут отражаться от естественных и искусственных неоднородностей в толще воды, а также от границ раздела морской среды «вода – морская поверхность» и «вода – морское дно». Этот физический феномен

© А.В. ДЕРЕПА, 2015

лежит в основе принципа действия гидроакустического вооружения различного назначения.

На распространение акустических колебаний в морской воде существенное влияние оказывают гидрофизические поля морей, характеризующиеся значительной пространственно-временной изменчивостью. К ним относятся следующие поля [1–4].

*Поле температуры* [2] характеризуется тем, что при средней температуре вод Мирового океана  $+3,8^{\circ}\text{C}$  оно может изменяться от  $-1,8^{\circ}\text{C}$  до  $+38^{\circ}\text{C}$ .

*Поле солености* [2], под которым понимается относительное содержание в воде всех растворенных в ней минеральных солей, может меняться от 31 до 38%. При этом состав солей регулируется растворимостью, сносом осадков с материков, процессами обмена с атмосферой и осадками дна, жизнедеятельностью организмов. В воде растворены также различные газы, поступающие из атмосферы и формирующиеся в самой водной толще.

*Поле плотности* [2] определяется плотностью морской воды, которая, в свою очередь, определяется температурой, соленостью и гидростатическим давлением. Для средних значений распределения плотности в океане это поле устойчиво стратифицировано с постоянным увеличением плотности при изменении глубины. Показателями устойчивости слоев является частота Вайселя  $N$ . Максимальных значений частота Вайселя  $N = 10^{-2} \frac{1}{c}$  достигает в слое скачка скорости звука, минимальное значение составляет  $N = 10^{-4} \frac{1}{c}$ .

В приповерхностных слоях морей толщиной в единицы и десятки метров наблюдается, как отмечено в работах [4–6], высокая концентрация воздушных пузырьков. Они образуются в результате разрушения поверхностных волн и разрыва сплошности среды в кильватерных струях кораблей.

В толще морских вод обитают биологические объекты. На некоторых горизонтах они образуют плотные скопления – звукорассеивающие слои протяженностью в сотни и тысячи километров. С закатом солнца слои поднимаются к поверхности на глубины 20–50, а на рассвете опускаются на глубины 300–400 м.

Морская поверхность характеризуется волнением. В верхнем слое глубиной до 50–60 м наблюдаются ветровые волны, имеющие высоту до 12–13 м. Большая часть энергии этих волн сосредоточена в полосе одной октавы.

На поверхности раздела слоев морской воды с различной плотностью возникают внутренние волны. Создавая значительные перемещения слоев воды, они активно влияют на изменчивость гидрофизических полей в пространстве и во времени. Низкочастотные внутренние волны имеют длины в десятки и сотни километров и высоту до 100 м. Кроме упомянутых волн в морях и океанах наблюдаются цунами, приливо-отливные явления, инерционные колебания.

Гидрофизические поля морей отличаются наличием однородных по свойствам слоев с толщинами от десятков до долей метра [3–5]. Эти слои отделены друг от друга граничными прослойками с резкими изменениями термодинамических характеристик. Вертикальные градиенты физических свойств в этих прослойках могут в 10–100 раз превышать их средние значения.

В океанах и морях существуют течения, представляющие собой поступательное движение водных масс. На отдельных участках скорость горизонтальных течений может достигать 10 узлов. Течения могут быть постоянными, временными и периодическими. По ширине и протяженности течения могут достигать сотен и тысяч километров на любой глубине Мирового океана. В морях наблюдаются такие явления, как турбулентность, синоптические и фронтальные вихри, вертикальное перемешивание.

Приведенные данные свидетельствуют о большом многообразии и разнообразии физических явлений и их параметров в водных массах морей и океанов. С точки зрения распространения звуковых волн в водных массах наиболее обобщенной характеристикой их является скорость звука [1, 3–5], причем наиболее полно акустические свойства морской воды характеризует комплексное поле скорости звука  $\tilde{c}(\omega, \vec{r}, t)$ , где  $\omega$  – круговая частота;  $\vec{r}$  – пространственный вектор;  $t$  – время.

Процесс распространения звуковых волн в упругой среде, какой является морская среда, описывается волновым уравнением

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = \Delta \Phi,$$

где  $\Delta$  – оператор Лапласа;  $\Phi$  – потенциал скорости.

Как видим, характеристики звукового поля в морской среде полностью зависят от скорости звука в ней, которая выражается через параметры комплексного поля скорости звука [5, 7]. При этом вещественная часть комплексной скорости звука

соответствует скорости распространения плоской монохроматической волны, а мнимая – определяет затухание энергии звуковых колебаний.

Существуют два подхода к решению волнового уравнения, а именно, в рамках волновой и лучевой теорий [1, 3–5]. В рамках волновой теории используются функции, которые называются нормальными волнами, или модами. Каждая из них является решением волнового уравнения. Суммы мод составляют так, чтобы удовлетворить граничным условиям и параметрам источника звука.

В лучевой теории, которая справедлива для малых длин волн, используют представления о волновых фронтах и о лучах. Фронты характеризуются постоянными значениями фаз. Лучи ограничивают области распространения звуковых колебаний. В среде, где вертикальный и горизонтальный градиенты отсутствуют, траектории звуковых лучей представляют собой прямые линии. В морской среде, которая образована слоями с различными постоянными значениями скорости звука  $c_1, c_2, \dots, c_n$ , луч рефрагирует. Углы скольжения лучей  $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$  на границах слоев связаны со значениями скорости звука  $c_1, c_2, \dots, c_n$  законами Снеллиуса для каждого луча:

$$\frac{\cos \theta_1}{c_1} = \frac{\cos \theta_2}{c_2} = \frac{\cos \theta_3}{c_3} = \text{const.}$$

В связи с большим диапазоном изменчивости поля скорости звука ее обычно разделяют на две составляющие: регулярную и случайную. Регулярная составляющая наиболее четко выражена на вертикальном распределении скорости звука (ВРСЗ), особенности которого в разных районах Мирового океана демонстрируют графики на рис. 1 (1, 6 – Атлантический океан; 2 – Тихий океан; 3, 5 – Индийский океан).

На графиках выделены четыре слоя: I – приповерхностный слой; II – слой сезонной изменчивости; III – слой уменьшения регулярной составляющей; IV – слой увеличения регулярной составляющей. Границы этих слоев в разных районах и в разные сезоны находятся на различных глубинах. Наиболее изменчивым является приповерхностный слой глубиной до 100–200 м. В этом слое знаки вертикальных градиентов могут изменяться на противоположные в обе стороны. Слой сезонной изменчивости глубиной 200–500 м принято рассматривать по четырем сезонам года. За время между сезонами знаки вертикальных градиентов могут изменяться на противоположные. В слое III происходит регулярное уменьшение средней ско-

рости звука с глубиной без изменения знака. Во многих случаях на границе между слоями III и IV значение скорости распространения звука достигает минимальной величины. Глубину этой границы называют осью подводного звукового канала (ПЗК). Слой IV характеризуется монотонным увеличением скорости звука с глубиной.

Для полного описания особенностей распространения низкочастотных и инфразвуковых волн в морских средах необходимо иметь информацию о скоростях распространения звука в придонных слоях и коренных породах дна [1, 8, 9].

Скорость распространения продольных и поперечных волн в грунте зависит от его физико-механических параметров, пористости, плотности, состава частиц, количества и вида содержащихся в осадках газов и других факторов. В обобщенном виде скорость звука в слое рыхлых осадков составляет  $c_2 = 1,6 \div 2,5$  км/с, в слое уплотненных осадков –  $c_2 = 3,5 \div 5,5$  км/с, для базальтов –  $c_2 = 6 \div 7$  км/с. Поперечные волны быстро затухают.

Приведенный выше анализ физических свойств морских сред и связанного с ними поведения комплексного поля скорости звука, в особенности его вертикального распределения, обусловлен той ролью, которую играет этот параметр в формировании наиболее интересных и важных с точки зрения военной гидроакустики особенностей акустического поля в морских условиях. Наглядное проявление этого влияния демонстрируют графики на рис. 2 [1], где с помощью лучевых картин

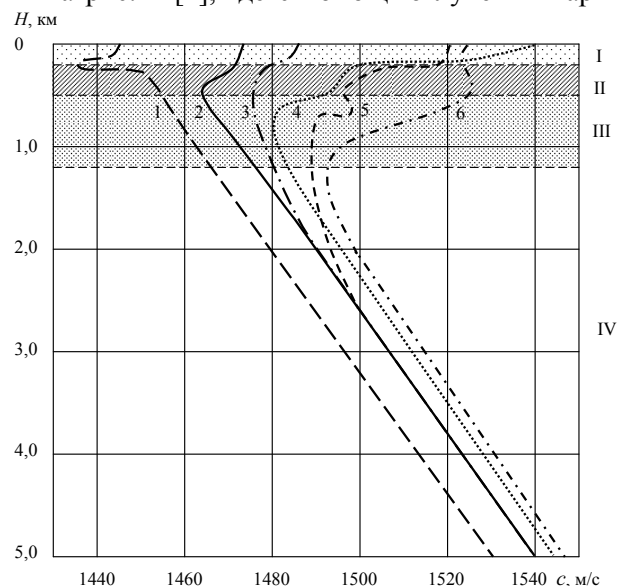


Рис. 1. Вертикальное распределение скорости звука в Мировом океане

представлены эти особенности (II) в зависимости от характера ВРСЗ (I): *a* – зона тени при отрицательной рефракции; *б* – зона тени и освещенности при положительной рефракции; *в* – слой скачка и приповерхностный канал; *г* – дальние зоны и подводный звуковой канал; *д* – мелкое море. При этом особенности расположения подводных объектов обозначены цифрами 1–4.

Как следует из рис. 2, наиболее широкий диапазон изменчивости скорости звука характерен для приповерхностного слоя. В этом же слое чаще всего размещаются приемные и излучающие устройства системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль».

Анализ качественного характера распределения энергии звукового поля показывает, что при

постоянном отрицательном градиенте скорости звука (рис. 2, *a*) все лучи изгибаются вниз. Для источника звука на глубине *d* существует такой луч, который, выйдя из него под углом  $\theta_m$  к горизонтали, касается поверхности. Любой другой луч, который выйдет из источника под углом, большим  $\theta_m$ , будет падать на морскую поверхность и отражаться в направлении дна. Как видно из рис. 2, *a*, ни один из лучей не может попасть в зону тени справа от предельного луча. Сюда может попасть лишь звуковая энергия за счет отражения от морской неровной поверхности или дна. В зоне тени уровень излученного сигнала уменьшается более чем на 100 дБ. При увеличении скорости звука с глубиной (рис. 2, *б*) возникает положительная рефракция лучей, их многократное отражение от морской поверхности

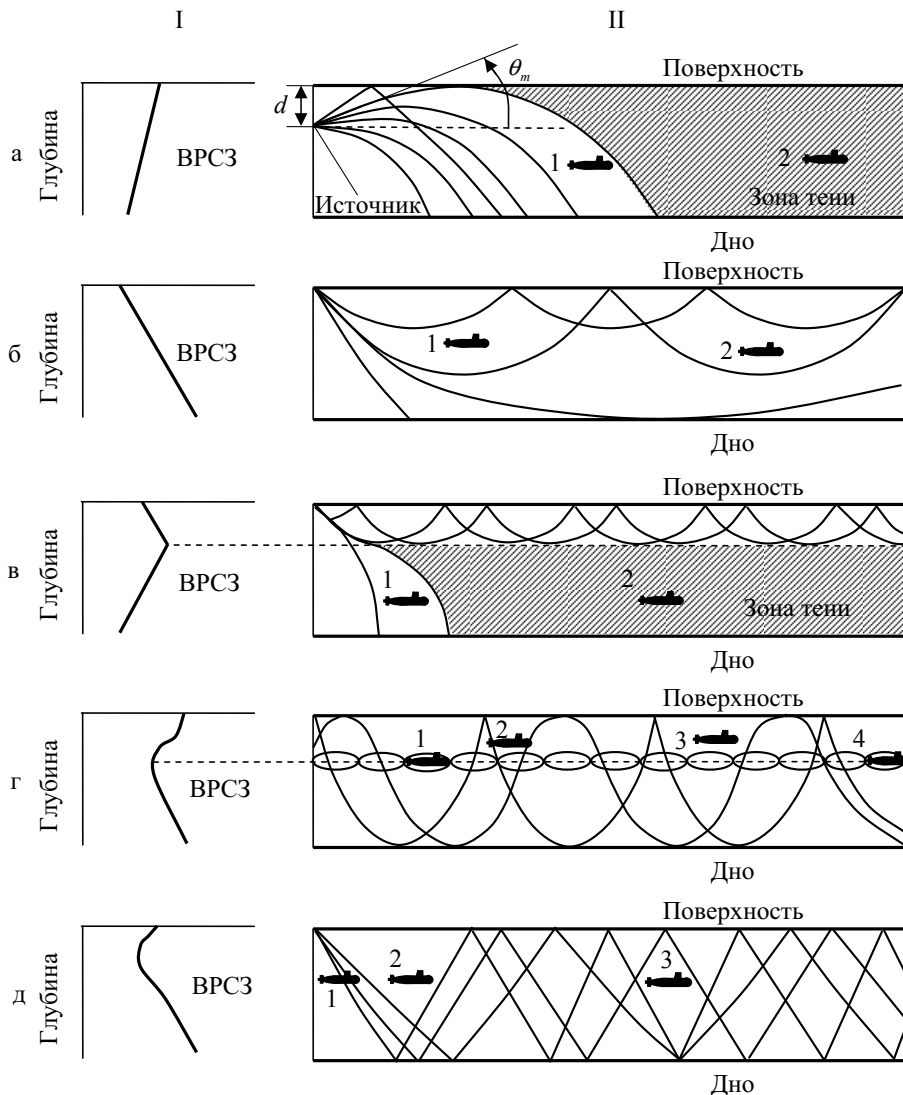


Рис. 2. Особенности акустического поля в зависимости от вертикального распределения скорости звука

образует зоны тени и освещенности. При наличии в распределении скорости звука угла излома (рис. 2, в), когда небольшая положительная рефракция лучей резко изменяется на отрицательную, возникает слой скачка.

Слой скачка образуется при интенсивном ветровом и конвективном перемешивании поверхностного слоя или при наложении друг на друга двух масс воды различного происхождения. Слой температурного скачка (термоклин) обычно возникает при сильном прогревании верхнего слоя воды и его ветровом перемешивании. Слой скачка солености (галоклин) и плотности (пикноклин) образуется при распространении по поверхности моря пресных вод материкового стока или образующихся при таянии льдов. Мощность слоя скачка колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров, а величина вертикального градиента в нем может превышать по температуре 8–10 °С на метр, по солености – 5‰ на метр, по плотности – 0,05–0,07 кг/м<sup>3</sup> на метр. Слой скачка характерен для небольших глубин моря. В отдельных случаях по вертикали может располагаться несколько слоев скачка.

До слоя скачка при положительной рефракции акустических лучей возникает их многократное отражение от поверхности моря, результатом чего является появление приповерхностного звукового канала. В нем увеличивается (до 8–10 дБ) уровень акустического сигнала, а на средних частотах (5–10 кГц) он уменьшается при волнении поверхности моря более 6 баллов. При переходе через слой скачка уровень акустического сигнала уменьшается на 20–30 дБ.

Переходная область в составе термоклина (рис. 2, г), представляющая собой изотермический слой, создает в море эффект акустической линзы. Если источник звука расположен в точке с минимальной скоростью звука, то лучи, выходящие из него, будут осциллировать вверх и вниз относительно горизонта источника. Глубину минимальной скорости звука называют осью подводного звукового канала. Регулярная смена положительной и отрицательной рефракции лучей с полным внутренним отражением на горизонтах, где скорость звука больше минимального значения на оси канала, обуславливает увеличение до 10 дБ уровня сигнала в канале и на порядок – расстояние по сравнению со сферическим законом. При существовании в морской среде профиля скорости звука, подобного изображенному на рис. 2, г, лучи, выходящие из источника звука, находящегося выше или ниже оси,

осциллируют относительно оси канала. Изображенные на рис. 2, г лучи периодически возвращаются к поверхности моря в узких диапазонах по дальности, которые называются зонами конвергенции.

Условиями существования зон освещенности является достаточно большая глубина моря, а скорость звука у дна должна быть равной или большей, чем у поверхности моря. Нерегулярная смена положительной и отрицательной рефракции лучей при полном внутреннем отражении от поверхности и дна моря обуславливает значительную (до 25 дБ и более) аномалию в приповерхностном слое с периодическим чередованием (20–70 км) зон (шириной 5–15 км) повышенной интенсивности и тени на расстояниях до 2000–5000 км.

Особо следует выделить вопрос о тонкой структуре звукового поля в глубоком и мелком морях [3–5]. Это связано с тем, что мелкое море может иметь зоны тени, слой скачка и приповерхностный канал одновременно. Но условия распространения звука при этом будут отличаться от условий глубокого моря. Многократное изменение параметров отрицательной и положительной рефракции с многократным отражением лучей от поверхности и дна моря обуславливают высокую степень пространственно-временной изменчивости уровня и фазы сигнала с замираниями до 50 дБ.

**Влияние гидролого-акустических характеристик морской среды на структуру построения системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль».** Приведенный анализ гидроакустических характеристик водных масс Мирового океана позволяет сделать ряд выводов, важных с точки зрения обоснования структуры построения комплексной системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль», адаптированной к потенциальным возможностям извлечения гидроакустической информации из морской среды. Они включают следующее.

**Во-первых,** гидрофизические поля Мирового океана, влияющие на распространение в нем звуковых волн, характеризуются большим числом физических факторов, обуславливающих пространственную и временную изменчивость этих полей. Обобщенной характеристикой водных масс океана, наиболее полно описывающей акустические свойства морской среды, является комплексное поле скорости звука, содержащее детерминированную и случайную составляющие.

**Во-вторых**, детерминированная составляющая изменчивости поля скорости звука в морской среде наиболее четко выражена по вертикальному распределению (вертикальному градиенту), поскольку горизонтальные градиенты на 2–3 порядка меньше вертикальных градиентов. Именно различие характеров вертикального разреза скорости звука определяет наиболее важные особенности распределения параметров акустического поля в локальных районах Мирового океана. Эти особенности, часто именуемые «гидроакустическими явлениями» [1], включают возникновение: зон акустической освещенности и зон акустической тени; слоя скачка звука; приповерхностного и подводного звукового каналов; дальних зон акустической освещенности и донной подсветки.

**В-третьих**, характер и области проявления указанных выше гидроакустических явлений в значительной мере определяются условиями заглубления источников и приемников звука в привязке к вертикальному распределению скорости звука. При этом важными факторами возможностей практического использования этих явлений являются глубина, протяженность по глубине и по дальности областей существования описанных явлений. Именно эти факторы определяют эффективность использования параметров гидроакустических явлений при практическом решении задачи поиска подводных объектов.

Приведенный качественный анализ характера распределения энергии акустических полей при различных гидроакустических явлениях, возникающих в морской среде Мирового океана, позволяет утверждать о том, что в потенциальном плане в морской среде существует полная информация о наличии и свойствах имеющихся там подводных объектов и объектов, расположенных на поверхности моря. Однако особенность этой информации состоит в том, что, в зависимости от состояния гидрофизических полей интересующей нас зоны Мирового океана, эта информация может быть сосредоточена по глубине на различных морских горизонтах. Поэтому для эффективного отбора ее из морской среды соответствующие гидроакустические средства должны иметь возможность изменять в требуемых пределах глубину погружения. Этот вывод имеет принципиальный характер при выборе путей построения комплексной системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Он заключается в том, что с учетом над-

водного корабля как носителя гидроакустических средств различного назначения эти средства должны быть реализованы в виде двух составляющих. Первая из них должна иметь устройства излучения и приема звука собственно на корпусе корабля, что представляется наиболее естественным при построении системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль». Вторая составляющая должна включать устройства излучения и приема, глубину погружения которых можно варьировать, чтобы обеспечить эффективное использование параметров используемых при этом гидроакустических явлений.

Таким образом, образование комплексной системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль» из ГАС, излучающие и приемные антенны которых размещены на корпусе надводного корабля, и из ГАС, в состав которых входят гидроакустические антенны переменной глубины, имеет своим обоснованием научные основы формирования акустических полей в морских средах с учетом параметров их гидрофизических полей.

При этом использование в составе системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль» ее компонента в виде ГАС с гидроакустическими антеннами, стационарно размещенными на корпусе надводного корабля, обеспечивает эффективный поиск, обнаружение и сопровождение объектов на основе таких гидроакустических явлений, как приповерхностный звуковой канал, зоны акустической освещенности и акустической тени. В то же время, именно возможность появления зон тени при использовании этого компонента из-за отрицательной рефракции звуковых лучей во многих случаях ограничивает дальность действия системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль».

Описанный недостаток устраняется введением в состав системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль» второго ее компонента, а именно ГАС с антенной переменной глубины. Эти ГАС позволяют использовать при реализации поставленных перед системой «гидроакустическое вооружение – надводный корабль» задач такие гидроакустические явления, как слой скачка и работа под ним, подводный звуковой канал, дальние зоны акустической освещенности, донную подсветку и явления мелкого моря. Именно появление этого компонента существенно расширило возможности системы «гидроакустическое вооружение – надводный корабль»

по поиску, обнаружению и сопровождению подводных лодок и надводных кораблей, в том числе и за счет дальнего гидроакустического наблюдения, и обеспечило тем самым возможность практически полного извлечения системой «гидроакустическое вооружение – надводный корабль» информации, имеющейся в морской среде в заданных районах Мирового океана.

### Вывод

Морская среда содержит полный объем информации о наличии и свойствах объектов, находящихся в ней и на ее поверхности. При этом особенностью этой информации является то, что она может быть сосредоточена на различных морских горизонтах, глубина расположения которых определяется состоянием гидрофизических полей контролируемой зоны Мирового океана. Поэтому для полного отбора этой информации из морской среды гидроакустические средства должны иметь возможность располагать свои гидроакустические антенны по глубине на любом из морских горизонтов. Для гидроакустического вооружения надводного корабля это означает, что оно должно иметь два компонента: гидроакустические станции с антеннами, размещенными на корпусе корабля, и гидроакустические станции с антеннами переменной глубины.

### Список литературы

1. *Справочник по гидроакустике* / А.П. Евтюков, А.Е. Колесников и др. – Л.: Судостроение, 1988. – 552 с.
2. *Физика океана*: в 2-х т. – М.: Наука, 1978. – т. 1. – 456 с.
3. *Акустика океана: Современное состояние* / Под ред. Л.М. Бреховских. – М.: Наука, 1982. – 246 с.
4. *Акустика океана*: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Де Санто. – М.: Мир, 1982. – 246 с.
5. *Бреховских Л.М. Теоретические основы акустики океана* / Л. М. Бреховских, Ю. П. Лысанов. – Л.: Гидрометиздат, 1982. – 320 с.
6. *Ветер и волны в океанах и морях: справочные данные* / И. Н. Давидан, Л. И. Лопотухин [и др.]. – Л.: Транспорт, 1974. – 264 с.
7. *Клей К. Акустическая океанография: Основы и применение*: пер. с англ. / К. Клей, Г. Медвин. – М.: Мир, 1980. – 580 с.
8. *Акустика дна океана*: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 454 с.
9. *Боголепов К.В. Геология дна океана* / К. В. Боголепов, Б. М. Чиков. – М.: Наука, 1976. – 247 с.
10. *Федоров К.Н. Тонкая термоклинная структура океана* / К. Н. Федоров. – Л.: Гидрометиздат, 1976. – 184 с.

УДК 621.391.372.019

А.В. ШИШАЦЬКИЙ, В.В. ЛЮТОВ, наук. співробітники

(Центр. наук.-дослід. ін-т озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ),

О. Г. ЖУК, канд. техн. наук (Військ. ін-т телекомунікацій та інформатизації, м. Київ)

## АНАЛІЗ НАПРЯМІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ З ОРТОГОНАЛЬНИМ ЧАСТОТНИМ МУЛЬТИПЛЕКСУВАННЯМ

Проведено аналіз недоліків засобів радіозв'язку, що використовують технологію ортогонального частотного мультиплексування. Запропоновано напрями підвищення ефективності функціонування систем радіозв'язку, що використовують цю технологію.

Проведен анализ недостатков средств радиосвязи, которые используют технологию ортогонального частотного мультиплексирования. Предложены направления повышения эффективности функционирования систем радиосвязи, использующих эту технологию.

Технологія ортогонального частотного мультиплексування – OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) зараз широко застосовується в мережах безпроводового доступу стандартів IEEE 802.11 та IEEE 802.16, системах цифрового радіомовлення T-DAB та DRM, цифрового телебачення DVB-T, xDSL-модемах тощо [1–5].

При формуванні OFDM-сигналу інформаційний потік зі швидкістю  $B$  ділиться на  $N$  паралельних підканалів, швидкість кожного з яких у  $N$  разів менша ( $B/N$ ). Кожний із цих підканалів модулює індивідуальну піднесучу, що ортогональні між собою. Спектри сигналів на індивідуальних несучих перекриваються, але завдяки ортогональності сигнали розділяються на прийомі без спотворень (рис. 1).

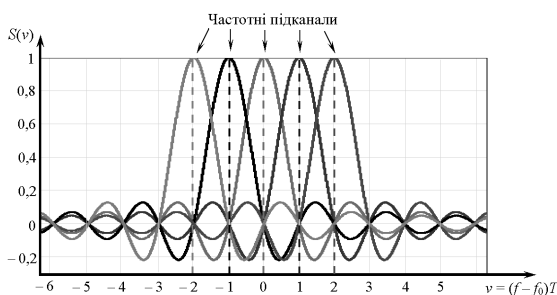


Рис. 1. Принцип формування OFDM-сигналу [3].

Група несучих частот, яка в даний момент часу переносить біти паралельних цифрових потоків, називається символом OFDM. Для модуляції піднесучих застосовують *КАМ-М* (М-позиційну квадратурну амплітудну модуляцію) або *ФМ-М* (М-позиційну фазову модуляцію) [2].

Переваги модуляції OFDM проявляються в разі великої (сотні й тисячі) кількості несучих  $N$ . Так, в стандарті IEEE 802.11a та IEEE 802.11g використовуються 52 несучі, в стандарті IEEE 802.16 – від 200 до 2048, в специфікації наземного цифрового телевізійного мовлення DVB-T – 6817 несучих [2–5].

До основних переваг технології OFDM слід віднести стійкість до завмирань сигналу за умов багатопроменевості та високу спектральну ефективність згідно робіт [2, 3]. Багаточастотна структура групового сигналу зменшує чутливість системи передачі до імпульсних завад і дозволяє ефективно боротися зі зосередженими за спектром завадами.

Однак OFDM-системам притаманні й свої проблеми [1–5]: одночасне випромінювання сигналу в усій смузі каналу, внаслідок чого зменшується радіус дії засобів зв'язку, а з метою збереження такої ж дальності дії, що й для одночастотних систем, необхідно збільшувати потужність передавача;

високий пік-фактор ( $P$ ); висока чутливість до помилок компенсації фазових зсувів у каналі, що порушує ортогональність несучих; високий рівень паразитної амплітудної модуляції, що вимагає збільшення потужності з високою лінійністю характеристики; чутливість схеми до стабільності частоти.

З метою усунення впливу міжсимвольної інтерференції поміж символами OFDM вводиться захисний інтервал, який не дозволяє максимально ефективно використовувати наданий частотний ресурс (наприклад, для стандарту 802.11а коефіцієнт максимальної сумарної частотної ефективності складає 2,16 [5]).

Технологія OFDM є перспективною й знайшла широке застосування в безпроводових мережах зв'язку цивільного призначення. Але для систем військового радіозв'язку характерне функціонування в умовах впливу навмисних завад.

Аналіз характеристик навмисних завад, які можуть створювати сучасні комплекси та засоби радіоелектронного подавлення, показав, що особливу небезпеку для систем радіозв'язку з цифровою модуляцією являють ретрансльовані та імітаційні дезінформуючі завади. Так, американський наземний комплекс радіоелектронної боротьби для сухопутних військ "Вулфпак" за допомогою одного або декількох малогабаритних приймально-передавальних пристроїв може здійснювати оптимальне подавлення ліній радіозв'язку спрямованими малопотужними завадами, в результаті дії яких цифрові засоби радіозв'язку залишаються працездатними, але не забезпечують передачі корисної інформації [3].

Основними перевагами цього комплексу є: висока ефективність розкриття радіоелектронної ситуації; оптимальне подавлення ліній радіозв'язку малопотужними завадами без залучення традиційних засобів радіоелектронного придушення; можливість використання в режимі протидії засобам радіозв'язку та радіотехнічної розвідки супротивника з метою ведення ним розвідки американських систем зв'язку й управління.

З вищесказаного видно, що застосування OFDM сигналу при впливі навмисних завад ускладнено та потребує вдосконалення [3].

Метою статті є аналіз можливих шляхів вдосконалення засобів радіозв'язку з технологією OFDM при впливі навмисних завад.

**Додаткове розширення спектру.** Одним з перспективних методів боротьби з навмисними

завадами є розширення спектра за допомогою розширювальної технології кодових послідовностей (стандарти IMT-MS, CDMA-2000, CDMA), основними принципами якої є розширення спектра в поєднанні з кодовим розділенням фізичних каналів за рахунок використання псевдовипадкових послідовностей (ПВП). Своєрідне поєднання технологій OFDM та CDMA створює технологію MC-CDMA (Multi Carrier Code Division Multiple Access). У разі формування MC-CDMA систем кожен біт потоку сигналів відображається на всі піднесучі, а кожна піднесуча використовує своє постійне в часі фазове зміщення, яке обирається відповідно до заданого закону кодування. Ця система має всі переваги OFDM та CDMA систем, та дозволяє боротися з частотно-селективними завмираннями та багатопроменевістю.

Зменшення впливу завад забезпечується такими факторами:

- ефектом „розмивання” завад за спектром шляхом перемноження прийнятої суміші сигналу й завади з ПВП;

- підвищення завадостійкості приймання OFDM-сигналу шляхом підвищення стійкості пілот-сигналів (пілот-несучих) щодо впливу завад, що забезпечує більш точну оцінку поточного стану каналу зв'язку. Знання передавальної характеристики каналу, у свою чергу, дозволяє застосувати резекцію частини спектра, яку уражено завадою, з відключенням передачі корисної інформації та відповідних піднесучих;

- незнання супротивником закону формування ПВП, при застосуванні імітаційних завад.

#### **Вибір виду розширювальної послідовності.**

Для розширення спектра в системах MC-CDMA використовуються різні види розширювальних послідовностей: двійкові (послідовності Уолша, Шاپіро-Рудіна, коди Баркера, коди Голда, M-послідовності, Адамара) та багатофазні (послідовності Френка та Задова-Чу, Мілевського, Голея).

Нижче розглянемо деякі найбільш ефективні послідовності, що використовуються в даний час.

Порівняльний аналіз цих послідовностей показав, що в системах

MC-CDMA найменший пік-фактор забезпечують ідеальні багатофазні послідовності Френка, Задова-Чу, Мілевського ( $P \leq 2$  (3 дБ)). Двійкові послідовності Шاپіро-Рудіна забезпечують  $P \leq 4$  (6 дБ). Недоліком вищеперелічених ідеальних послідовностей є те, що

об'єм їхнього алфавіту збільшується зі зростанням числа піднесучих.

Також в роботі [3] розглянуто 4-фазні послідовності Лі з одним нулем, ідеальні 8-фазні послідовності Люке з одним нулем та ідеальні 8-фазні послідовності з двома нулями. Ці послідовності також демонструють  $P \leq 2$  [8, 9].

Широке застосування в системах широкосмугового зв'язку знайшли так звані  $M$ -послідовності. Як правило, використовуються двійкові  $M$ -послідовності, що мають такі властивості:

1)  $M$ -послідовність є періодичною з періодом  $N = 2^n - 1$  символів, де  $N$  – кількість елементарних символів ПВП, а  $n$  — довільне ціле додатне число;

2) кількість символів, які приймають значення одиниці, на довжині одного періоду  $M$ -послідовності дорівнює  $2^{n-1}$ , що на одиницю більше, ніж кількість символів, що приймають значення нуль;

3) різні комбінації символів довжини  $n$  на довжині одного періоду  $M$ -послідовності, за винятком комбінації із  $n$  нулів зустрічаються не більш одного разу. Комбінація з  $n$  нулів є забороненою, на її основі можлива генерація тільки послідовності із самих нулів;

4) сума за  $mod\ 2$  будь-якої  $M$ -послідовності з її довільним циклічним зсувом також є  $M$ -послідовністю;

5) періодична автокореляційна функція (АКФ)  $M$ -послідовності має постійний рівень бокових пелюстків, який дорівнює  $1/N$ .

Формування  $M$ -послідовності відбувається за допомогою багатократних лінійних фільтрів у вигляді регістрів зсуву зі зворотнім зв'язком. У разі формування  $M$ -послідовностей із періодом  $N = 2^n - 1$  може використовуватись регістр зсуву довжиною  $n$ . Приклад регістру зсуву наведено на рис. 2., де каскад 1 – з початковим станом 0, каскад 2 – з початковим станом 0, каскад 3 – з початковим станом 1.

Коди Голда мають високе значення автокореляційної функції та низьке значення кореляції. Такі

властивості забезпечують можливість використання цих кодів для реалізації множинного доступу з кодовим розділенням [8].

Коди Голда з періодом  $2^n - 1$  формуються на основі двох  $M$ -послідовностей з відбором так званих “передавальних пар”, які мають тризначну функцію автокореляції  $(1, \varphi(t), \varphi(t) \cdot 2)$ , де

$$\varphi(t) = \begin{cases} 2(N+1)/2 & \text{де } N \text{ парне;} \\ 2(N+2)/2 & \text{де } N \text{ непарне.} \end{cases} \quad (1)$$

Ортогональні коди Голда утворюються на основі  $M$ -послідовності довжиною 255 бітів та додавання одного надлишкового символу. Первинний синхрокод має аперіодичну автокореляційну функцію та використовується для початкового входу в синхронізм.

Вторинний синхрокод представляє собою немодульований код Голда, який передається з первинним синхрокодом. Кожний вторинний синхрокод вибирається з 17 різних кодів Голда [8].

**Оцінка стану каналу зв'язку.** Завадостійкість приймання сигналів у сучасних системах радіозв'язку значною мірою залежить від точності оцінювання стану багатопробеневого каналу, який визначається його передавальною характеристикою й статистикою шуму [4]. Оцінка передавальної характеристики каналу зв'язку може бути подана як знаходження значень імпульсної характеристики каналу або відповідних їй значень частотної характеристики.

**Розподіл потужності сигналу між підканалами OFDM системи.** Також важливим фактором є відключення найгірших за відношенням сигнал/шум піднесучих. Відключення піднесучих з низькими відношеннями сигнал/шум зменшує шкідливий вплив частотно-селективних завмирань на пропускну здатність і дозволяє перерозподілити потужність передавача між іншими піднесучими.

**Вибір виду сигнально-кової конструкції в підканалі.** Алгоритм вибору сигнально-кової конструкції (СКК) для кожного власного каналу

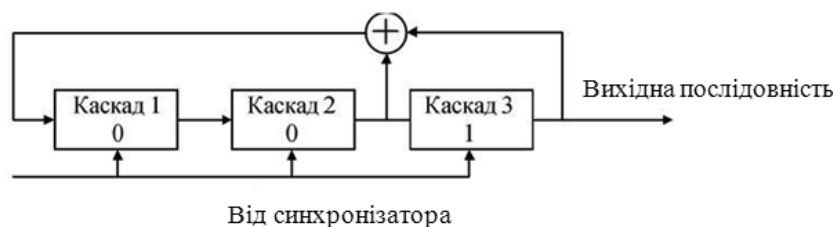


Рис.2. Приклад регістру зсуву [5].

складається з вибору, залежно від завадової ситуації, виду модуляції, вибору коректувального і маніпуляційного коду.

**Вибір виду модуляції.** При створенні СКК розвитку одержали методи двовимірної модуляції, у разі яких ансамблі сигналів можуть бути подані точками в двовимірному евклідовому просторі. Незважаючи на те, що теоретично для передачі інформації з каналу одновимірні види модуляції мають такі ж потенційні можливості, що і двовимірні, при формуванні СКК одновимірна модуляція використовується набагато рідше.

Застосування багатовимірних сигналів обмежується складністю реалізації таких СКК. Більшість відомих СКК базуються на використанні сигналів фазової маніпуляції (ФМ-М) і квадратурної амплітудної модуляції (КАМ-М) [7].

**Вибір коректувального коду.** Важливим етапом побудови ефективних СКК є вибір методу захисту від помилок, що базуються на застосуванні завадостійких кодів. Використання цих кодів дозволяє отримати енергетичний вигравш кодування, який характеризує ступінь можливого зниження енергетики передачі при кодуванні в порівнянні з відсутністю кодування, якщо достовірність передачі в обох випадках однакова. Цей вигравш можна використовувати для поліпшення параметрів і характеристик багатьох важливих властивостей систем передачі даних, наприклад, для зменшення розміру дорогих антен, підвищення дальності зв'язку, збільшення швидкості передачі даних, зниження необхідної потужності передавача [8].

З роботи [8] видно, що найбільш ефективними на даний час коректувальними кодами є турбо- і низькощільнісні коди. Кожен з них має свої переваги та недоліки. Застосування турбокодів при побудові СКК дозволить одержати додатковий енергетичний вигравш відношення сигнал/шум для каналів з флуктуаційним шумом і завмираннями в порівнянні зі схемами, що використовують згорткові коди. Тому ці СКК на основі турбокодів використовуються в багатьох сучасних комунікаційних засобах, таких як стандарти безпроводового доступу IEEE 802.16a,e та IEEE 802.11n [8].

**Вибір маніпуляційного коду.** При узгодженні кодека двійкового завадостійкого коду і модему багатопозиційних сигналів, необхідно використовувати маніпуляційний код, при якому більшій відстані за Хеммінгом між кодівими комбінаціями відповідає більша відстань за

Евклідом між сигналами. Способи узгодження модуляції і кодування можна розділити на дві групи: узгодження оптимальним маніпуляційним кодом і узгодження на основі розбиття ансамблю на вкладені підансамблі.

СКК, що відносяться до першої групи, є результатом узгодження відомих двійкових завадостійких кодів з багатопозиційним ансамблем сигналів шляхом використання спеціальним чином підбраного маніпуляційного коду. Оскільки помилки найчастіше відбуваються за рахунок переходу в ділянки сусідніх сигналів, то кодові комбінації, що відповідають сусіднім сигналам, повинні розрізнятися найменшою кількістю двійкових символів. Цій вимозі в ряді випадків задовольняє код Грея [3, 8]. Друга група включає досить велику кількість типів СКК, що розрізняються модифікаціями методів узгодження. Основою побудови СКК такого виду є розбиття ансамблю сигналів на вкладені підансамблі [3, 7]. Розбиття здійснюється таким чином, що підансамблі мають однакову кількість сигнальних точок. Відстані між сусідніми сигналами підансамблів однакові, а мінімальні відстані між сигналами підансамблю збільшуються з кожним кроком розбиття.

## Висновки

1. Основним напрямом вдосконалення технології ортогонального частотного мультиплексування в умовах впливу навмисних завад та міжсимвольної інтерференції є додаткове розширення спектра сигналу.

2. Іншим напрямом підвищення ефективності систем радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням є створення гібридних інформаційних технологій: багатоантенних систем з ортогональним частотним мультиплексуванням та ортогональне частотне мультиплексування з псевдовипадковою перестройкою робочої частоти.

## Список літератури

1. Григорьев В.А. Сети и системы радиодоступа / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев // М.: Око-Трендз, 2005. – 384 с.
2. Вишнеvский В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишнеvский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

3. *Кувшинов О.В.* Технологія OFDM: огляд проблем та шляхів їх розв'язання / О.В. Кувшинов, Т.Г. Гурський // Зв'язок. – 2008. – № 1 (77). – С. 42-46.
4. *Міночкін Д.А.* Метод контролю стану каналу зв'язку із селективними завмираннями / Д.А. Міночкін, І. В. Борисов. // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2006. – Вип. 3. – С. 66-71.
5. *Кувшинов О.В.* Теорія електричного зв'язку. Основи теорії завадостійкості, кодування та інформації. – Ч. 2. – / О.В. Кувшинов, С.П. Лівенцев, О.П. Лежнюк, А.І. Міночкін, Д.І. Могилевич // Підручник. – К.: ВІТІ НТУУ «КПІ» – 2008. – 286 с.
6. *Голяницкий И.А.* Математические модели и методы в радиосвязи /И.А. Голяницкий // Под ред. Ю.А. Громакова. – М: Эко-Трендз, 2005. – 440 с.
7. *Кувшинов О.В.* Методика вибору сигнально-кодових конструкцій в системах рухомого радіозв'язку / О.В. Кувшинов. // Зв'язок. – 2002. – № 3. – С. 30-34.
8. *Van Nee R. and Prasad R.*, OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech, 2000. – 275 p.
9. *Hanzo L.* OFDM and MC-CDMA for Broadband multi-User Communications, WLANs and Broadcating, John Wiley&Sons,Ltd., – 2003. – 374 p.

УДК 623.618 + 621.391

**О.М. БАШКИРОВ**, канд. техн. наук, **Т.І. ГОЛЕНКОВСЬКА**, ад'юнкт  
(Центр. наук.-дослід. ін-т озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШЛЯХІВ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Проведено аналіз шляхів розвитку автоматизованих систем управління військового призначення. Визначено пріоритетні завдання впровадження засобів автоматизованих систем управління в діяльність Збройних Сил України.

Проведен анализ путей развития автоматизированных систем управления военного назначения. Определены приоритетные задания внедрения средств автоматизированных систем управления в деятельность ВС Украины.

Армія ХХІ століття не може існувати без автоматизованої системи управління (АСУ) військами. Автоматизація управління військами – це скорочення в декілька разів часу обробки інформації, збільшення кількості та поліпшення точності оброблюваної інформації та зручності роботи оператора завдяки кращій поінформованості. Висока ефективність впровадження засобів автоматизації в управління збройними силами, що доведена за багато років їхньої експлуатації, модернізації та подальшого удосконалення в розвинених країнах світу, призводить до висновку про доцільність розробки подібних систем для потреб Збройних Сил (ЗС) України. Досі головною проблемою вважалася недостатність фінансування, проте досвід проведення ДКР “Калина” або “Сапсан” доводить, що навіть при великих фінансових витратах АСУ можуть не з’явитися. На сьогодні найбільш важливим питанням стає вибір стратегії та першочергових завдань розвитку автоматизації в ЗС України, чим і пояснюється актуальність статті, тому що без визначення науково обґрунтованих шляхів розвитку АСУ військового призначення результати дослідно-конструкторських робіт щодо розробки цих засобів стають непередбачуваними. У відомих окремих публікаціях стосовно поліпшення інформаційного забезпечення діяльності різних посадових осіб збройних сил під час управління бойовими діями [1–4], питання порівняльного аналізу різних способів побудови системи управління й

обґрунтування найбільш доцільного для ЗС України в цей час з урахуванням воєнно-політичної обстановки в державі не розглядалися.

За більш ніж 50-річний період розвитку автоматизованих систем в збройних силах різних держав дві сфери використання засобів автоматизації у військах обумовили два принципово різних шляхи їхнього розвитку:

1. Оперативне управління, тобто керівництво командира підлеглими силами та бойове управління вогневидами (активними) засобами;

2. Поліпшення ситуаційної обізнаності, яка є ступенем розуміння загальної обстановки на основі даних, що базуються на точній та своєчасній інформації про місце дислокації своїх сил, сил противника, союзних і нейтральних сил, а також цивільного населення.

Перший шлях полягає в створенні систем, що поєднують окремі комплекси засобів автоматизації (КЗА) різного призначення в класичну ієрархічну структуру з топологією зв’язку типу “точка–точка”, багатокроковою поетапною передачею та обробленням інформації на кожному рівні управління, централізованим управлінням з прийняттям рішення на верхньому рівні. Особливого розвитку такі системи набули у військах протиповітряної оборони (ППО), авіації, ракетних військах, а також в космічній галузі, де автоматизація досягла найвищого рівня. Приклад ієрархічної структури АСУ ППО колишнього СРСР показано на рис. 1.

© О.М. БАШКИРОВ, Т.І. ГОЛЕНКОВСЬКА, 2015

АСУ з'єднання ППО типу "Луч" була створена в колишньому Радянському Союзі у 70-х роках ХХ сторіччя в результаті поступового приєднання окремих КЗА до єдиної системи й включає такі підсистеми:

- інформаційно-розвідувальну (радіолокаційну);
- виконавчу (бойову або вогневу);
- командно-керувальну підсистему (прийняття рішення);
- підсистему зв'язку та передачі даних.

Перша підсистема містить радіолокаційні засоби: радіолокаційні станції (РЛС), радіолокаційні комплекси й висотоміри, а також включає КЗА пунктів управління (ПУ) радіолокаційних рот та КЗА командних пунктів (КП) радіотехнічних батальйонів та радіотехнічної бригади. Пакет радіолокаційних сигналів, відбитих від повітряного об'єкта за один оберт, проходить в РЛС первинну обробку. При цьому здійснюється виявлення радіолокаційних об'єктів (РЛО) на фоні завад та визначення їхніх координат, а також визначення деяких характеристик (тип цілі за її розміром, наявність завад або наявність відповіді системи державного

розпізнавання повітряного об'єкта). У КЗА радіолокаційної роти апаратура автоматизації обробки виконує вторинну обробку, узагальнюючи первинні відбиття за декілька оглядів РЛС та здійснюючи розрахунок параметрів руху РЛО. Після накопичення радіолокаційної інформації за декілька оглядів можна визначити курс і швидкість руху повітряного об'єкта в горизонтальній та вертикальній площинах. Таким чином, за допомогою однієї РЛС в радіолокаційній роті здійснюється побудова електронної траси польоту РЛО, а також її прив'язка до одного з реальних повітряних об'єктів.

До радіотехнічного батальйону радіолокаційна інформація надходить від різних радіолокаційних рот у вигляді окремих відміток, які отримані в різні моменти часу. Крім цього, кожна з рот має свою систему кодування координат РЛО відносно умовного центра координат (пункту управління роти). Зрозуміло, що один РЛО може супроводжуватися декількома РЛС різних рот. Тому в радіотехнічному батальйоні апаратура автоматизації проводить третинну обробку радіолокаційної

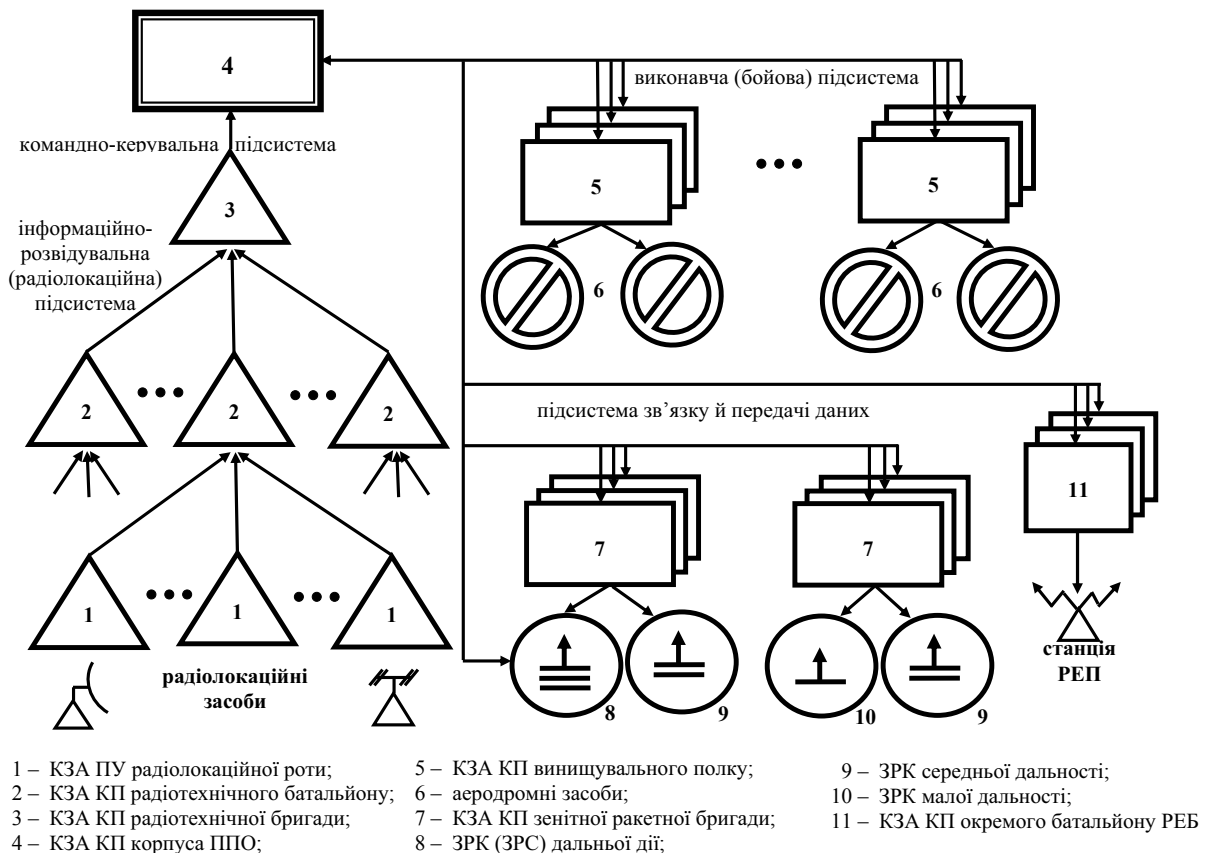


Рис. 1. Система класичної ієрархічної структури

інформації, що надходить від різних джерел, здійснюючи її узагальнення.

При цьому здійснюється приведення систем координат різних джерел до єдиної системи, врахування різного часу локації і відповідний перерахунок координат. Після цього, як й в радіолокаційній роті, апаратура розраховує курс і швидкість руху літаків, будує трасу польоту та виявляє дубльовані траси. Далі радіолокаційна інформація у вигляді окремих відміток надходить на КП радіотехнічної бригади та КП з'єднання ППО, які можуть бути суміщеними, і третинна обробка повторюється [5].

Командно-керувальна підсистема розміщується на КП з'єднання ППО й використовує узагальнену радіолокаційну інформацію для прийняття рішення на бойові дії. Для цього на КП з'єднання ППО узагальнюються дані про стан та можливості підлеглих елементів виконавчої (бойової, вогневої) підсистеми. Характерним для режиму централізованого управління, в якому функціонує АСУ з'єднання ППО, є те, що рішення щодо кожного РЛО про здійснення активного впливу бойовими засобами приймається на найвищому рівні – саме на КП корпусу ППО. Команди на застосування бойових засобів можуть бути введені тільки з визначених заздалегідь робочих місць.

Виконавча підсистема містить літаки винищувальної авіації, зенітні ракетні комплекси (ЗРК) або зенітні ракетні системи (ЗРС) та станції радіоелектронного подавлення, а також КЗА КП відповідних винищувальних авіаційних полків, зенітних ракетних бригад або окремих батальйонів радіоелектронної боротьби (РЕБ). Джерелами активного впливу, керування якими здійснюється через відповідний КП виконавчої підсистеми, вважаються об'єднане угруповання ЗРК (ЗРС) змішаного типу з об'єднаною зоною ураження, літаки одного типу на одному аеродромі або засоби РЕБ. ЗРК (ЗРС) дальньої дії припускають керування безпосередньо з КП корпусу, як це показано на рис. 1. Підсистема зв'язку та передачі даних з'єднує всі елементи АСУ в єдину систему і забезпечує передавання інформації.

Подібні системи на цей час функціонують, наприклад, в Російській Федерації та Республіці Білорусь, перспективи їхнього розвитку полягають у забезпеченні мобільності та підвищення надійності, тому головними завданнями розвитку таких систем є їхня мініатюризація та забезпечення роботи у надскладних для звичайного промислового

обладнання умовах з врахуванням специфічних факторів, наприклад, вібростійкості або складних температурних умов. Перевагою таких систем є те, що посадові особи в бойовому режимі можуть лише спостерігати за автоматичним виконанням всіх управлінських дій та за бажанням втручатися в рішення окремих бойових задач. Недоліком є втрати точності внаслідок багаторазових побудов трас польоту цілі на кожному з рівнів та непродуктивні витрати часу. Подібні комплекси в різних видах збройних сил створюються й в нашій державі, проекти “Ореанда”, “Оболонь” або “Вертикаль” – приклади цього шляху розвитку засобів автоматизації управління в Україні.

Війни й локальні конфлікти другої половини ХХ – початку ХХІ століття характеризуються високою динамікою змін обстановки та асиметричним характером збройної боротьби, що внесло значні корективи у форми та методи застосування збройних сил. Це зумовило розробку в США концепції майбутніх війн шостого і сьомого поколінь – концепції мережоцентричних війн NCW (Net-Centric Warfare) [6]. В її основу покладено принципи створення надсистеми, яка забезпечить максимальне скорочення часу реакції систем управління на зміну оперативної обстановки, а також зменшить кількість проміжних ланок між засобами розвідки та ураження. Процес ведення мережоцентричної війни передбачає інтегрування й забезпечення ефективного функціонування таких складових:

- об'єднаної телекомунікаційної мережі;
- розосереджених, керованих і живучих засобів розвідки;
- ефективних засобів ураження.

Мережоцентрична структура показана на рис. 2, де видно, що засоби розвідки, зв'язку й ураження збройних сил країн – учасниць мережоцентричної війни інтегровано в єдиний розвідувально-ударний комплекс без територіального (географічного) зосередження сил і засобів.

Таким чином, інший шлях історичного розвитку засобів автоматизації полягає в поліпшенні інформаційної обізнаності посадових осіб і створенні систем так званої мережоцентричної структури в разі повнозв'язної топології з'єднань на універсальній технічній базі спільної транспортної мережі з єдиними протоколами обміну. Мережоцентричні системи характерні для США, країн НАТО

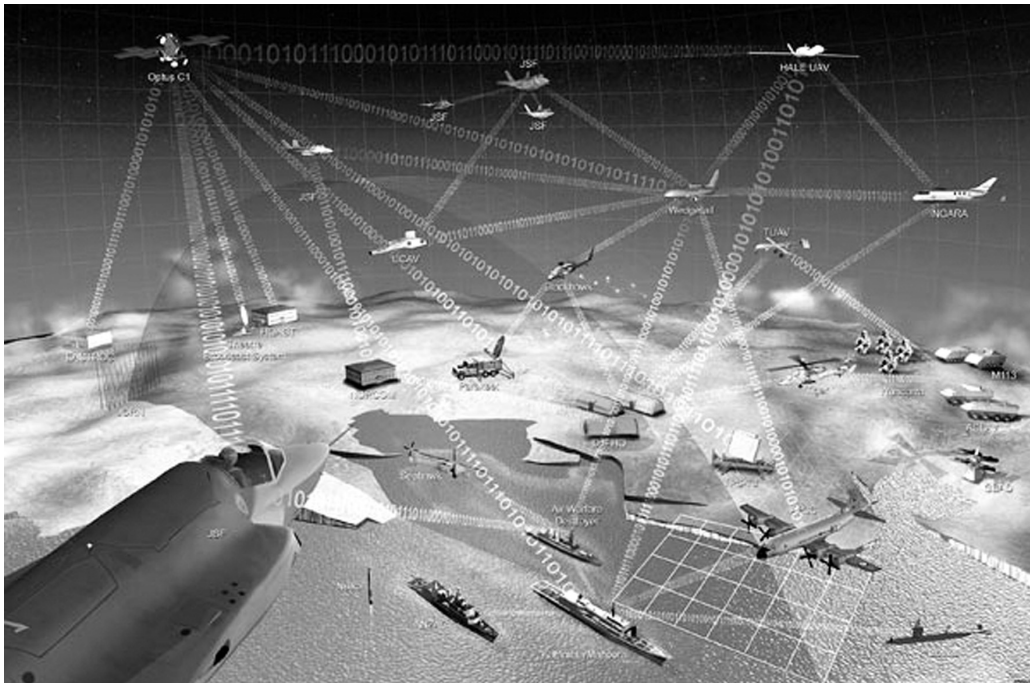


Рис. 2. Структура мережецентричної системи: 1 – елементи системи розвідки й зв'язку повітряного базування (спутникового, на літаках, гелікоптерах, безпілотних літальних апаратах); 2 – вузли зв'язку наземного базування; 3 – елементи системи розвідки та зв'язку морського базування; 4 – командні пункти, пункти управління різного базування (повітряного, наземного, морського); 5 – бойові засоби різного базування (повітряного, наземного, морського)

та їхніх партнерів [7]. Основними їхніми особливостями є:

- використання географічно розосереджених сил (немає необхідності передислокувати сили, засоби та особовий склад до лінії зіткнення);
- сили, які беруть участь в мережецентричних війнах, є високоінтелектуальними, що означає можливість їхньої самосинхронізації, автономного функціонування, самостійного прийняття оптимального рішення на застосування засобів ураження й оперативного перенацілювання засобів ураження відповідно до змін бойової обстановки;
- забезпечення стійких каналів зв'язку між складовими елементами.

Принципові відмінності систем різної структури показано в таблиці.

## Висновки

1. На цей час головним питанням розробки перспективних засобів автоматичних систем управління ЗС України є вибір шляху їхнього подальшого розвитку. Порівняння принципів побудови й функціонування систем класичної ієрархічної

структури з мережецентричними системами показує, що кожна з них має власні переваги й вибрати найкращу без визначених умов роботи, призначення та завдань системи неможливо. Проте є два суттєвих саме на сьогодні фактори: час і гроші. Для створення системи першого типу треба мати сукупність готових комплексів засобів автоматизації на всіх рівнях управління. Для системи другого типу достатньо мати набір робочих місць, забезпечивши їхню взаємодію між собою.

На нашу думку, з метою прискорення створення автоматичних систем управління для Збройних Сил України та мінімізації витрат на їхню розробку побудова системи повинна йти шляхом створення не ієрархічної структури спеціалізованих комплексів, а інтеграції в єдину систему комплексу уніфікованих робочих місць для посадових осіб на всіх рівнях з можливостями налаштування на особливості конкретних завдань з єдиною моделлю відображення району бойових дій, розташування, стану та можливостей своїх військ та розташування сил супротивника.

2. Принципово важливими особливостями побудови майбутньої системи стануть наявність

## Порівняння характеристик типів структури

Характеристика	Тип структури	
	класична ієрархічна	мережецентрична
Головна мета	автоматизація	інформування
Етапи створення	покрокове поєднання автономних комплексів	поєднання окремих робочих місць (засобів)
Особливості засобів	жорстка спеціалізація комплексів, засобів зв'язку й АРМ	універсальні (типові) засоби
Структура	пірамідальна (деревоподібна)	мережева
Топологія з'єднань	“точка-точка”	повнозв'язна
Напрямок інформаційних потоків	вертикальний, жорстко обумовлений порядком підлеглості органів управління, тільки з підлеглим і старшим за ієрархією	вертикальний і горизонтальний, незалежно від підлеглості (ієрархії) органів (пунктів) управління
Характер передачі інформації за трафіками	«примусове» забезпечення визначеним змістом інформації (незалежно від потреб користувача)	забезпечення будь-якою необхідною інформацією, в тому числі за запитом
Тип управління	централізоване багатоступінчасте	змішане однофазове
Порядок прийняття рішень	жорстко регламентований	спільна участь у прийнятті рішення
Протоколи окремих комплексів	індивідуальні, сумісні тільки з сусідніми КЗА	єдині (цілком сумісні)
Джерела розвідувальної інформації	відомства і засоби різних органів, структур і типів підпорядкування	розподілена гнучка система джерел розвідувальної інформації всіх типів
Доступ до інформації	тільки свого комплексу	розподілена база даних

універсальних типових засобів зв'язку, на яких будується спільна телекомунікаційна мережа.

3. Новий підхід до організації системи змінює поняття «централізоване управління»: посадові особи (та командир в тому числі) мають можливість працювати на будь-якому робочому місці в будь-якому комплексі засобів автоматизації після проведення процедур ідентифікації та аутентифікації.

4. Для забезпечення функціонування системи мають бути створені як локальні (місцеві) бази даних, так і глобальна центральна з можливістю доступу до неї будь-якої посадової особи незалежно від її місцезнаходження з врахуванням прав доступу.

## Список літератури

1. Зварич А.О. Проблемні питання створення ЄАСУ ЗС України // Матеріали VI-го наук.-практич. семінару «Пріоритетні напрями розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення». – Київ: ВІПІ НТУУ «КПІ». – 2011. – С. 101-102.
2. Пащетник О.Д. Деякі проблемні питання створення автоматизованих систем управління військами і зброєю у Збройних Силах України / О. Д. Пащетник, Л. І. Поліщук // Системи озброєння і військова техніка. – Харків : Харківський ун-т Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 2015. – № 2 (42). – С. 31–33.

3. *Плавунов С.* Системы и средства связи тактического звена управления сухопутных войск США / С. Плавунов, С. Носиков // Зарубежное военное обозрение. – 2012. – № 4. – С. 42–47.
4. *Пацетник О.Д.* Аналіз світових тенденцій розвитку автоматизованих систем управління військами і зброєю // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 2 (19). – С. 64-68.
5. *Башкиров О. М.* Пропозиції щодо підвищення ефективності штурманського та радіотехнічного забезпечення польотів авіації / О. М. Башкиров, О. В. Дорофеев // Наук. пробл. штурманського забезпечення в сучасних умовах : матер. військ.-наук. конфер. – К. : НАОУ, 2002. – С. 40–42.
6. *Паршин С.* Современные тенденции в совершенствовании системы управления вооруженными силами ведущих зарубежных стран в информационную эпоху / С. Паршин, Ю. Кожанов // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 6. – С. 3–10.
7. *Рябих В.* Проблеми створення Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України з урахуванням досвіду Польщі, Румунії та Казахстану // Defense Express, березень 2013. – С. 40-49.

УДК 681.32

**О.С. МАВРЕНКОВ**, канд. техн. наук (Державний наук.-дослідний ін-т авіації)

## МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ РЕАЛІЗОВНОСТІ ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ БОЙОВИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Представлено результати розроблення методичного підходу до оцінювання техніко-технологічної реалізованості варіантів модернізації бойових літальних апаратів з використанням базових моделей та положень теорії ризиків та теорії нечітких множин.

Рассматривается научно-практическая задача определения технико-технологической реализуемости варианта разработки (модернизации) сложной технической системы на основе оценивания риска интеграции (комплексирования) новых узлов (элементов, блоков, систем и т.п.) на разных уровнях иерархии (декомпозиции) разрабатываемой (модернизируемой) системы.

Описанный в статье методический подход может быть рекомендован для его применения на начальных этапах выполнения проектов по разработке (модернизации) образцов вооружения и военной техники для предварительной оценки технико-технологической реализуемости таких проектов и планирования мероприятий по уменьшению возможных рисков их реализации.

The scientific and practical task of determining the technical and technological realization of variants of development (modernization) of complicated technical systems based on integration of risk assessment integration (aggregation) of new nodes (elements, blocks, systems, etc.) at different levels of the hierarchy (decomposition) of developing (modernizing) system is discussed.

The methodical approach, described in the article, can be recommended for using in the early stages of the development (modernization) projects of weapons and military technic for the preliminary assessment of the technical and technological realizability of such projects and planning measures to reduce the possible risks of realization.

Основним напрямом розвитку авіації Збройних Сил України на довгострокову перспективу, як і переважної більшості країн світу, залишається модернізація авіаційної техніки (АТ), що дозволяє забезпечити відповідність її бойових можливостей вимогам сучасних війн (збройних конфліктів) при помірних фінансових витратах.

На сьогодні силами вітчизняних підприємств реалізуються проекти модернізації бойових літаків МиГ-29, Су-25, Су-27 та вертольотів Ми-24. Особливістю модернізації літальних апаратів (ЛА) авіації Збройних Сил України є її виконання за двома варіантами (частковим та повним), які передбачають послідовне нарощування військово-технічного рівня літаків та вертольотів до сучасних вимог. На даний час завершено модернізацію бойових ЛА за частковими варіантами та, відповідно, літаки МиГ-29МУ1, Су-25М1, Су-27М1 і вертоліт Ми-24ПУ1 прийнято на озброєння Збройних Сил України.

© О.С. МАВРЕНКОВ, 2015

Аналіз результатів виконання проектів часткової модернізації ЛА авіації Збройних Сил України показує, що їх реалізація супроводжувалася перевищенням запланованих строків реалізації, фінансових ресурсів і, в окремому випадку, недосягненням передбачуваного підвищення військово-технічного рівня ЛА, що, як показує досвід виконання складних науково-технічних проектів, пов'язано, в тому числі, з відсутністю оцінювання проектів модернізації за показником їх реалізованості.

Реалізованість науково-технічного проекту є найважливішою його властивістю, під якою розуміється можливість найбільш ефективного виконання комплексу фінансових, науково-технічних, проектно-конструкторських, виробничо-технологічних і організаційно-управлінських завдань для створення продукції (послуг) необхідного науково-технічного рівня, обсягу, і в заданий термін в умовах діючих ресурсних обмежень, і їх прогнозу на період виконання проекту.

Правильна оцінка реалізованості проекту на початковій стадії його реалізації є основою відпрацювання ефективних заходів (планів) науково-технічного, виробничо-технологічного та фінансово-економічного характеру з метою успішного його виконання.

Аналіз публікацій, присвячених тематиці кількісного оцінювання реалізованості складних науково-технічних проектів, в тому числі в галузі створення (модернізації) авіаційно-космічної техніки, зокрема [1–7], показує, що відповідні методики засновуються, як правило, на евристичних підходах або така оцінка взагалі ігнорується, що не виключає прийняття помилкових рішень та може призвести до необґрунтованих перевитрат фінансових і часових ресурсів. Таким чином, розробка формалізованих методів і моделей для оцінювання реалізованості науково-технічних проектів є актуальним науково-прикладним завданням.

У статті розглядається задача визначення техніко-технологічної реалізованості проекту (варіанта) модернізації бойового ЛА на основі оцінювання ризику інтеграції (комплексування) нових вузлів (елементів, блоків, систем тощо) на різних рівнях ієрархії ЛА, що модернізується, як складної технічної системи.

При цьому ризик інтеграції нових вузлів до штатних бортових систем ЛА, що модернізується, пропонується визначати через техніко-технологічну складність цих вузлів, яка, у свою чергу, залежить від відносного числа реалізованих функціональних зв'язків  $S$  та кількості компонентів (підвузлів) у вузлі  $N$ .

Відносне число реалізованих функціональних зв'язків розраховується за співвідношенням

$$S = \frac{Z}{N(N-1)} \quad (1)$$

де  $Z$  – кількість реалізованих функціональних зв'язків у вузлі.

Як показник ризику інтеграції нових вузлів будемо використовувати ймовірність  $R$  виникнення такого ризику. Розрахунок ймовірності виникнення ризику інтеграції нових вузлів пропонується здійснювати на основі імплементації науково-методологічних апаратів теорії ризиків і теорії нечітких множин. При цьому, як свідчить практика, математичний апарат теорії нечітких множин дозволяє оцінювати параметр ймовірності (очікуваності) певної події в умовах невизначеності при відсутності достатнього обсягу статистичної інформації

та неможливості формалізації (моделювання) стохастичних процесів, що досліджуються [8–11].

Структурно-логічну блок-схему методики оцінювання реалізованості варіанта модернізації ЛА показано на рис. 1.

Вхідними даними для оцінювання реалізованості варіанта модернізації ЛА є ієрархічна структура ЛА, що модернізується, кількість компонентів (підвузлів) у вузлі  $N^u$  та відносне число реалізованих функціональних зв'язків  $S^u$  на кожному  $u$ -му рівні ієрархії. Параметри  $N^u$  та  $S^u$  визначають складність вузла, що інтегрується, та являють собою ризикоутворюючі фактори, які формують ризик інтегрування нового вузла в процесі модернізації ЛА.

Ключовим елементом запропонованої автором методики оцінювання реалізованості варіанта модернізації ЛА є оцінювання ймовірності (очікуваності) ризику інтегрування кожного нового вузла на основі системи нечіткого логічного виводу, яка дозволяє використовувати вербальні оцінки для отримання кількісних характеристик вихідних змінних. Така система складається з певних алгоритмічних блоків (див. рис. 1), у яких послідовно виконуються необхідні процедури перетворення вхідних даних (значень ризикоутворюючих факторів) у параметр кількісного оцінювання ризику – ймовірність (очікуваність) його виникнення.

Необхідно зауважити, що, на відміну від теорії ймовірності, яка розглядає невизначеність статистичного характеру, що формалізується за допомогою функції розподілення випадкової величини, теорія нечітких множин розглядає невизначеність лінгвістичного характеру, яка формалізується за допомогою функції приналежності нечіткого числа. Тому для теоретичного розмежування наукових категорій в теорії нечітких множин поняття ймовірності заміщується поняттям очікуваності.

У основу системи нечіткого логічного виводу параметра «очікуваність ризику» покладається:

подання ризикоутворюючих факторів як вхідних лінгвістичних змінних у вигляді нечітких множин з певними функціями приналежності (так звана фазифікація);

їх композиція у відповідності до бази правил логіки «ЯКЩО – ТО» («IF – THEN») та правил нечіткої математики за алгоритмом Мамдані;

приведення вихідного параметра (очікуваності ризику) до чіткості (так звана дефазифікація) за допомогою методу центра тяжіння (центроїдного методу).

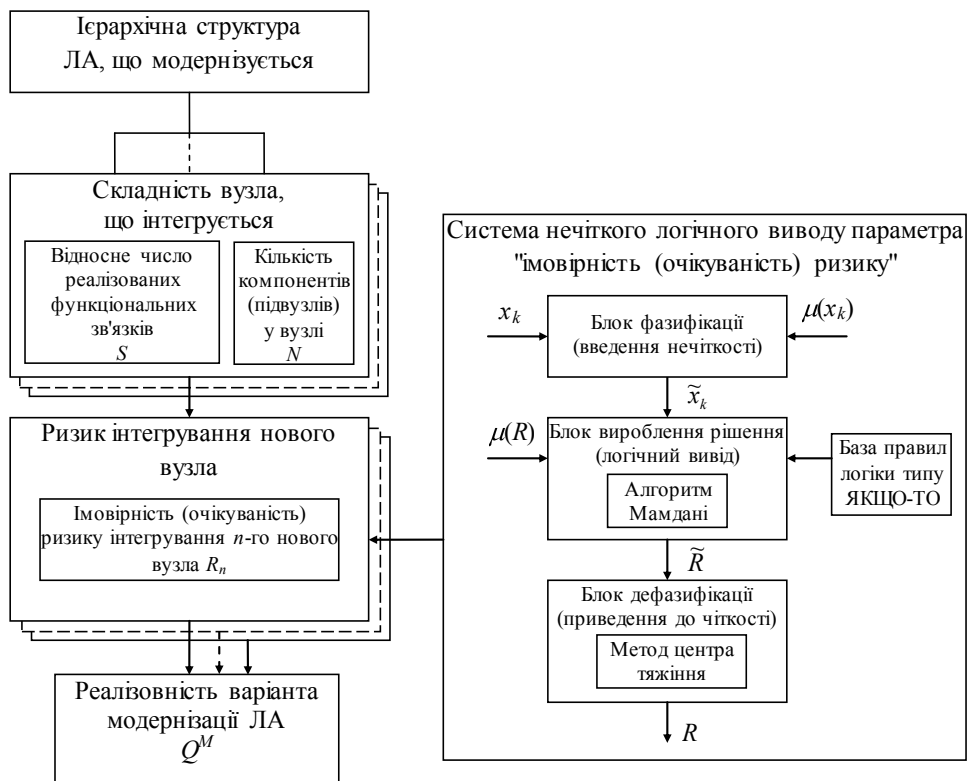


Рис. 1

Вхідними лінгвістичними змінними (ризикоутворюючими факторами) є описані вище параметри  $N^n$  та  $S^n$ . При цьому кожному значенню лінгвістичної змінної, значення якої можуть бути виражені природною мовою слова або словосполучення, відповідає нечітка множина з певною функцією приналежності. Множина всіх можливих значень лінгвістичної змінної називається терм-множиною.

Нечітка множина  $\tilde{A}$  в деякому непорожньому просторі  $X$  описується сукупністю пар [8–11]:

$$\tilde{A} = \{(\mu(x_1) \ x_1) \ (\mu(x_2) \ x_2), \dots, (\mu(x_n) \ x_n)\},$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \in X, \quad (2)$$

де  $\mu: X \rightarrow [0,1]$  – функція приналежності, яка приписує кожному елементу  $x$  ступінь його приналежності до нечіткої множини  $\tilde{A}$ . Функція приналежності виражає суб'єктивну можливість наявності властивостей, які дозволяють віднести елемент  $x$  до множини  $\tilde{A}$ .

Побудова форми та вибір параметрів функції приналежності, що описують ризикоутворюючі фактори, є, певною мірою, мистецтвом дослідника, яке залежить від вміння експерта (ризик-менеджера), його практичного досвіду та знань теорії

предметної галузі. При цьому розділ теорії нечітких множин, що займається проблематикою побудов функцій приналежності нечітких чисел, є досить повно розробленим в теоретичному плані, а його практичні рекомендації дозволяють досить адекватно описувати нечіткі числа (параметри) їх функціями приналежності [8–11].

У блоці вироблення рішення нечіткі вхідні дані (кількість підвузлів у вузлі та відносне число реалізованих функціональних зв'язків) за прийнятими нечіткими правилами перетворюються в нечітке значення вихідного параметра (очікуваність ризику інтегрування нового вузла). Множина таких нечітких правил складає базу правил логіки (лінгвістичну модель) типу «ЯКЩО – ТО» («IF – THEN»), яка формується експертами.

Як алгоритм нечіткого виводу пропонується використовувати алгоритм Мамдані, а дефазифікацію виконувати за методом центра тяжіння, що найчастіше використовуються на практиці та є широко апробованими в різноманітних сферах застосування теорії нечітких множин [12, 13].

У відповідності до методологічних підходів, викладених, зокрема, у [14–16], реалізованість варіанта модернізації ЛА  $Q^M$  визначається за формулами

$$Q^M = Q^0 = (1 - R_{n^0}^0) \prod_{n^1=1}^{N^1} Q_{n^1}^1, \quad (3)$$

$$Q_{n^u}^u = (1 - R_{n^u}^u) \prod_{n^{u+1}=1}^{N^{u+1}} Q_{n^{u+1}}^{u+1}, \quad (4)$$

де 0 – верхній (найвищий, останній) рівень ієрархії складної технічної системи; 1 – перший (передостанній) рівень ієрархії складної технічної системи;  $u$  – рівень ієрархії (декомпозиції) складної технічної системи;  $u + 1$  – рівень ієрархії (декомпозиції) складної технічної системи, що передує рівню  $u$ ;  $n^u$  – номер нового вузла (елемента, блока, системи тощо) на  $u$ -му рівні ієрархії (декомпозиції) складної технічної системи;  $N^u$  – кількість нових вузлів (елементів, блоків, систем тощо) на  $u$ -му рівні ієрархії (декомпозиції) складної технічної системи;  $Q_{n^u}^u$  – величина реалізованості  $n$ -го нового вузла (елемента, блока, системи тощо) на  $u$ -му рівні ієрархії (декомпозиції) складної технічної системи;  $R_{n^u}^u$  – очікуваність ризику інтегрування  $n$ -го нового вузла (елемента, блока, системи тощо) на  $u$ -му рівні ієрархії (декомпозиції) складної технічної системи.

За наведеною вище методикою було виконано оцінювання реалізованості варіанта модернізації літака МиГ-29, роботи за яким було виконано на

вітчизняному авіаремонтному підприємстві в інтересах інозамовника.

Варіант модернізації літака МиГ-29 передбачав удосконалення бортової радіолокаційної станції у напрямі збільшення дальності виявлення повітряних цілей та можливості виявлення вертольотів у режимі їх висіння, встановлення приймача супутникової навігаційної системи для підвищення точності навігації, удосконалення засобів об'єктивного контролю за рахунок заміни плівкових носіїв інформації твердотільними електронними та можливості цифрового оброблення польотної інформації, встановлення літакового відповідача та доробленої радіостанції для забезпечення виконання польотів за міжнародними вимогами ІКАО/НАТО. Ієрархічну структуру літака МиГ-29 як об'єкта модернізації зображено на рис. 2.

Функції приналежності вхідних лінгвістичних змінних (ризикоутворюючих факторів)  $N^u$  та  $S^u$  наведено на рис. 3.

Областю визначення вхідної лінгвістичної змінної «Кількість підвузлів у вузлі»  $N^u$  є діапазон цілих чисел [1, 10] (рис. 3, а). Терм-множина функції приналежності (лінгвістичні значення) параметра  $N^u$ :

$$N^u = \{ "M - мала", "C - середня", "B - велика" \}. \quad (5)$$

Областю визначення вхідної лінгвістичної змінної «Відносне число реалізованих функціональних

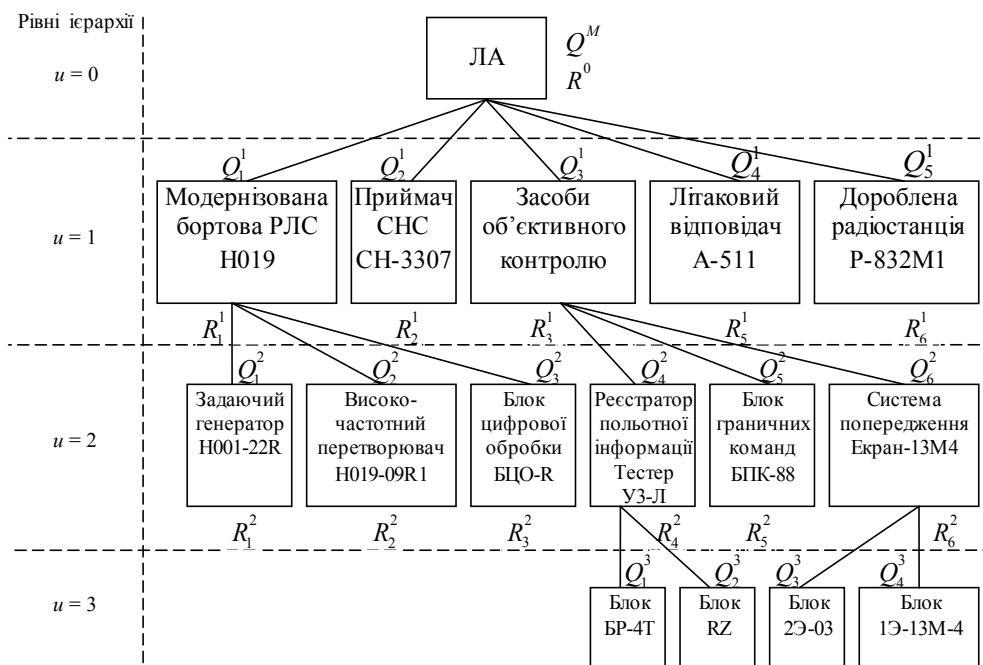


Рис. 2

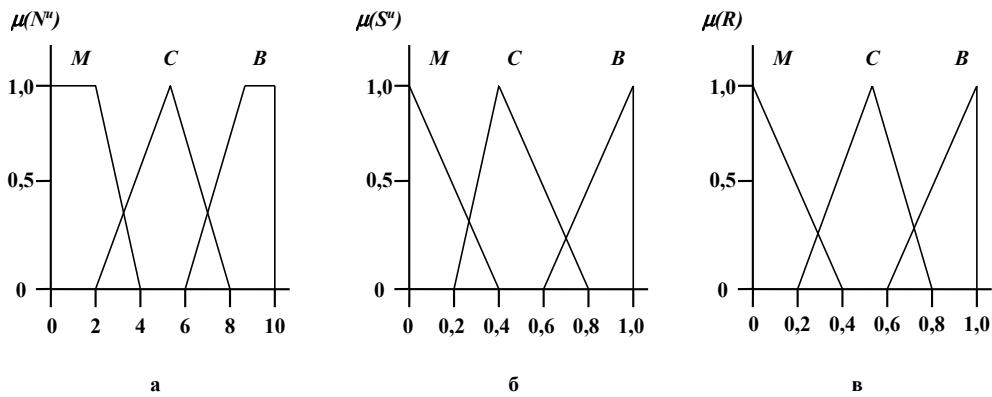


Рис. 3

зв'язків»  $S^u$  є діапазон  $[0, 1]$  (рис. 3, б). Термножина функції приналежності (лінгвістичні значення) параметра  $S^u$ :

$$S^u = \{ "M - \text{мале}", "C - \text{середнє}", "B - \text{велике}" \}. \quad (6)$$

Областю визначення вихідної лінгвістичної змінної «Очікуваність виникнення ризику інтегрування нового вузла»  $R$  є діапазон  $[0, 1]$  (рис. 3, в). Термножина функції приналежності (лінгвістичні значення) параметра  $R$ :

$$R = \{ "M - \text{мала}", "C - \text{середня}", "B - \text{велика}" \}. \quad (7)$$

Лінгвістична модель – база правил типу «ЯКЩО – ТО» – являє собою множину нечітких правил, згідно з якими нечіткі вхідні дані перетворюються в блоці вироблення рішення системи нечіткого логічного виводу в нечітке вихідне значення змінної. Наприклад: «Якщо кількість підвузлів у вузлі відповідає значенню «мала», а відносне число реалізованих функціональних зв'язків відповідає значенню «велике», то очікуваність виникнення ризику інтегрування нового вузла відповідає

значенню «середня». Розроблену базу правил для оцінювання наведено в табл. 1.

Як алгоритм нечіткого виводу використовується алгоритм Мамдані, а дефазифікація виконується методом центра тяжіння, програмна реалізація яких виконана в середовищі MatLab (розширення Fuzzy Logic Toolbox).

На рис. 4 зображено геометричну інтерпретацію визначення величини  $R$  очікуваності виникнення ризику інтегрування модернізованої бортової РЛС Н019 літака МиГ-29 з новими (удосконаленими) блоками задавального генератора Н001-22R, високочастотного перетворювача Н019-09R1 та блоком цифрової обробки сигналів БЦО-R (див. рис. 2).

Вихідні дані для визначення  $R$  ( $N$  – кількість компонентів у вузлі та  $S$  – відносне число реалізованих функціональних зв'язків) геометрично інтерпретуються як вертикальні прямі ( $N = 3; S = 0,67$ ), що проходять через низку графіків відповідних функцій приналежності згідно з встановленими правилами в табл. 1 (див. праву область на рис. 4).

Таблиця 1

№ правила	Опис правила	Лінгвістичне значення вихідної змінної
1	$N^u - \text{"мала"}, S^u - \text{"мале"}$	$R - \text{"мала"}$
2	$N^u - \text{"мала"}, S^u - \text{"середнє"}$	$R - \text{"мала"}$
3	$N^u - \text{"мала"}, S^u - \text{"велике"}$	$R - \text{"середня"}$
4	$N^u - \text{"середня"}, S^u - \text{"мале"}$	$R - \text{"мала"}$
5	$N^u - \text{"середня"}, S^u - \text{"середнє"}$	$R - \text{"середня"}$
6	$N^u - \text{"середня"}, S^u - \text{"велике"}$	$R - \text{"велика"}$
7	$N^u - \text{"велика"}, S^u - \text{"мале"}$	$R - \text{"середня"}$
8	$N^u - \text{"велика"}, S^u - \text{"середнє"}$	$R - \text{"велика"}$
9	$N^u - \text{"велика"}, S^u - \text{"велике"}$	$R - \text{"велика"}$

Точки перетину вертикальних прямих ( $N = 3$ ;  $S = 0,67$ ) та відповідних функцій приналежності є початком горизонтальних прямих  $\alpha$ , що відсікають на функції приналежності  $\mu(R)$  певні області на ділянках графіка у відповідності до бази правил (див. ліву верхню область на рис. 4). Серед областей, що відсікають прямі  $\alpha$  на кожному графіку функції приналежності  $\mu(R)$ , вибирається область, що відсікається нижньою прямою, тобто виконується дія «логічного мінімуму»:

$$\begin{aligned} \alpha &= \mu(N) \wedge \mu(S) \\ \mu_{\alpha}(R) &= \alpha \wedge \mu(R) \end{aligned} \quad (8)$$

Композиція вибраних таким чином областей на графіках функцій приналежності  $\mu(R)$  виконується за допомогою дії «логічного максимуму» (див. ліву нижню область на рис. 4):

$$\mu_{\Sigma}(R) = \mu_{\alpha_1}(R) \vee \mu_{\alpha_2}(R) \vee \mu_{\alpha_3}(R) \vee \mu_{\alpha_4}(R) \quad (9)$$

Дефазифікація (приведення до чіткості) виконується за формулою:

$$R = \frac{\int R \mu_{\Sigma}(R)}{\int \mu_{\Sigma}(R)} \quad (10)$$

За своїм фізичним змістом значення  $R$ , отримано за формулою (10), являє собою координату на осі абсцис центра тяжіння геометричної фігури, побудованої в результаті композиції за формулою (9). Звідси походить назва методу дефазифікації – метод центра тяжіння.

За результатами проведених розрахунків отримано значення очікуваності виникнення ризику інтегрування модернізованої бортової РЛС Н019 на рівні 0,44, що є досить значною величиною та може негативно вплинути на загальний показник техніко-технологічної реалізованості варіанта модернізації літака МиГ-29 в цілому.

Аналогічні розрахунки було проведено для кожного з нових вузлів, що встановлювалися на літак МиГ-29 в процесі його модернізації. У результаті подальшого рішення поставленої задачі значення показника  $Q^M$  реалізованості варіанта модернізації літака МиГ-29 склало 0,68, що є порівняно низьким рівнем.

Отримані результати теоретичних досліджень говорять про високу ймовірність ризику техніко-технологічної реалізації наведеного вище варіанта модернізації літака МиГ-29 та можливість невиконання заданих тактико-технічних вимог.

Ці теоретичні дослідження були підтверджені на практиці, коли за результатами виконання відповідної дослідно-конструкторської роботи варіант модернізації літака МиГ-29 для інозамовника було реалізовано не в повному обсязі – вимогу щодо виявлення вертольотів в режимі висіння модернізованою бортовою РЛС не було реалізовано через техніко-технологічні причини, що виникли в процесі інтеграції блока цифрової обробки сигналів БЦО-Р до штатних вузлів бортової РЛС Н019.

Таким чином, наданий у статті методичний підхід може бути рекомендований для його застосування на початкових етапах виконання проектів зі створення (модернізації) зразків озброєння та військової техніки для попередньої оцінки техніко-технологічної реалізованості таких проектів та планування заходів щодо зменшення можливих ризиків їх реалізації.

### Список літератури

1. *Финансовая* реализуемость инвестиционного проекта [Электронный ресурс] // Материалы сайта Уральского государственного экономического университета. – Режим доступа: <http://tumanager.com/finansovaya-realizuemost-investicionnogo-proekta/>.
2. *Бендиков М. А.* Оценка реализуемости инновационного проекта / М. А. Бендиков // Менеджмент в России и за рубежом. – 2001. – № 2. – С. 27–43.
3. *Хрусталёв О. Е.* Инструментальные методы оценки реализуемости наукоемкого инвестиционного проекта / О. Е. Хрусталёв, Ю. Е. Хрусталёв // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – № 27 (234). – С. 8–18.
4. *Неволин И. В.* Методология оценки финансовой значимости и реализуемости инновационных проектов создания интеллектуальной продукции / И. В. Неволин, О. Е. Хрусталёв, Ю. Е. Хрусталёв // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2013. – № 11 (149). – С. 39–45.
5. *Хрусталёв Е. Ю.* Финансовая устойчивость наукоемкого предприятия как фактор оценки реализуемости инновационного проекта / Е. Ю. Хрусталёв, О. Е. Хрусталёв // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2013. – № 33 (222). – С. 16–23.
6. *Волков В. А.* Организационно-экономические подходы к оценке реализуемости проектов по созданию ракетно-космической техники /

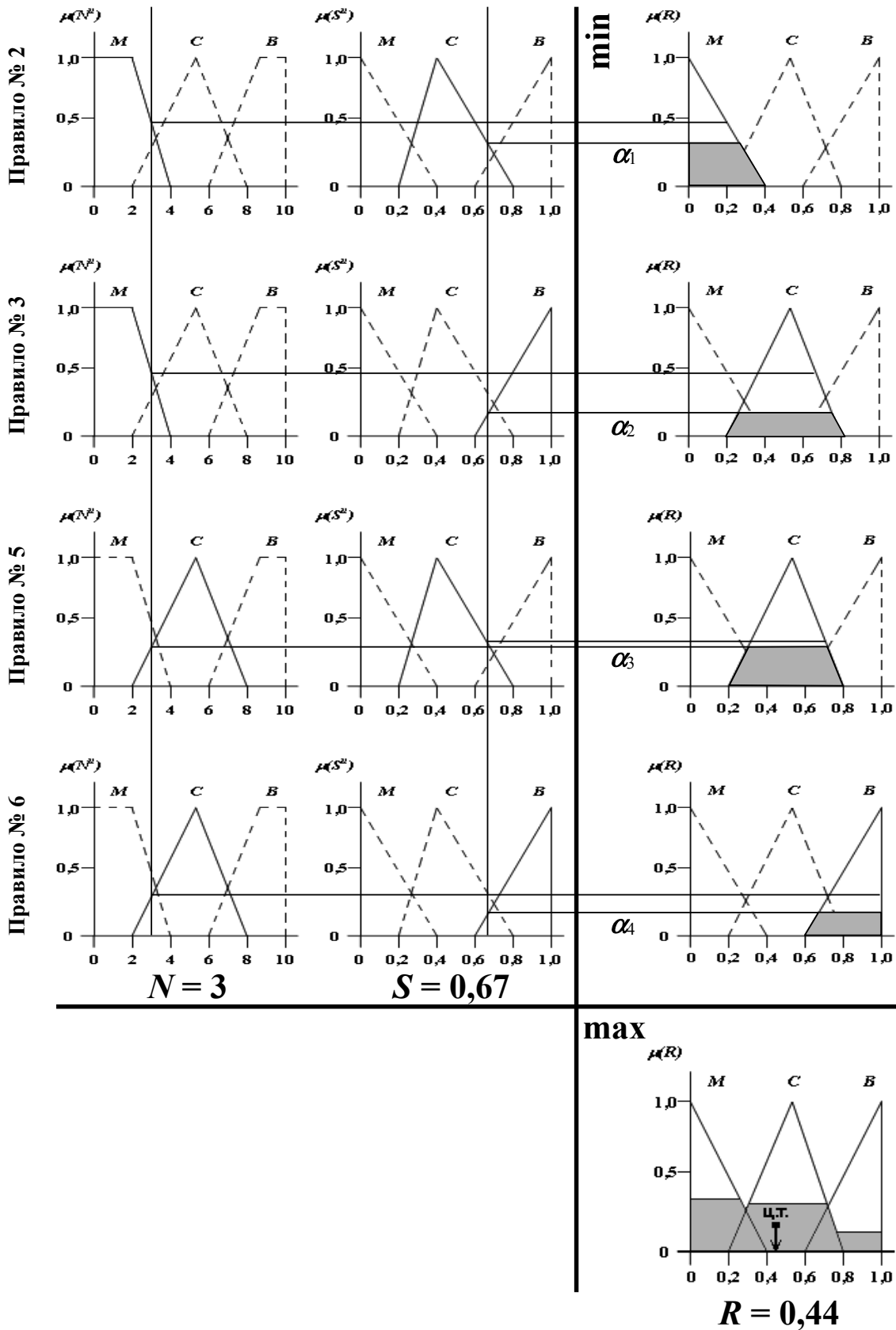


Рис. 4

- В. А. Волков, А. И. Орлов // Экономический анализ: теория и практика. – 2014. – № 11 (362). – С. 41–47.
7. Волков В. А. Организационно-экономические подходы к оценке реализуемости инновационно-инвестиционных проектов / В. А. Волков, А. И. Орлов [Электронный ресурс] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/13.pdf>.
  8. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. – М. : Радио и связь, 1982. – 135 с.
  9. Мациевский С. В. Нечеткие множества : учеб. пособие / С. В. Мациевский. – Калининград : Изд-во КГУ, 2004. – 234 с.
  10. Рыбин В. В. Основы теории нечетких множеств и нечеткой логики : учеб. пособие / В. В. Рыбин. – М. : МАИ, 2007. – 96 с.
  11. Хаптахоева Н. Б. Введение в теорию нечетких множеств: учеб. пособие / Н. Б. Хаптахоева, С. В. Дамбаева, Н. Н. Аюшева. Ч. I. – Улан-Удэ : ВСГТУ, 2004. – 68 с.
  12. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику проекта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/>.
  13. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTech. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
  14. Яшина Е. С. Метод агрегированной оценки риска научно-технического проекта, учитывающий степень новизны работ / Е. С. Яшина, Л. Н. Лутай // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 3 (44). – С. 146–151.
  15. Лутай Л. Н. Оценка риска проекта по созданию нового образца авиационной техники с использованием прецедентного подхода / Л. Н. Лутай // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 5 (72). – С. 105–112.
  16. Федорович О. Е. Исследование реализуемости проекта с использованием компонентального подхода и многоуровневой архитектуры аэрокосмического изделия / О. Е. Федорович // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2011. – № 1 (49). – С. 168–172.

УДК 656.71.052:519.24

М. Д. ОГОРОДНІЙЧУК, докт. техн. наук, С. О. ПОНОМАРЕНКО, канд. техн. наук  
(Державний науково-дослідний інститут авіації, м. Київ)

## КОМПЕНСАЦІЯ ТРАЄКТОРНИХ НЕСТАБІЛЬНОСТЕЙ, ПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ КОНСТРУКЦІЇ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА ПРИ РОБОТІ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СТАНЦІЇ ІЗ СИНТЕЗОВАНОЮ АПЕРТУРОЮ АНТЕНИ

Показано характер впливу різних типів завад на роботу авіаційної радіолокаційної станції із синтезуванням апертури антени (РСА), проведено аналіз залежності характеристик роботи РСА від похибок визначення параметрів польоту безпілотних літальних апаратів (БпЛА) та запропоновано алгоритм адаптивного квазі-оптимального локально-ковзного згладжування для компенсації траєкторної нестабільності і пружних коливань конструкції БпЛА.

Показан характер влияния различных типов помех на работу авиационной радиолокационной станции с синтезированием апертуры антенны (РСА), проведен анализ зависимости характеристик работы РСА от погрешностей определения параметров полета БпЛА и предложен алгоритм адаптивного квазиоптимального локально-скользящего сглаживания для компенсации траекторной нестабильности и упругих колебаний конструкции БпЛА.

Showing the impact of different types of noises at work of aviation radar with antenna aperture synthesizing (SAR), analysis of SAR characteristics depending on error determination UAV flight parameters and algorithm of adaptive quasi-optimal locally smooth sliding for compensate of trajectory instability and elastic waves of UAV was proposed

**Класифікація завад, що впливають на роботу РСА.** Робота радіолокаційної станції із синтезуванням апертури антени (РСА) відбувається в умовах впливу різних видів завад, що викликають зниження ефективності функціонування РСА. Ступінь зниження ефективності РСА безпосередньо пов'язана зі зміною характеристик радіолокаційного зображення (РЛЗ) під впливом різних завад.

Ступінь впливу завад істотно залежить від характеру взаємодії завади і сигналу. За цією ознакою завади розділяються на два типи: мультиплікативні та адитивні. Вплив мультиплікативних завад призводить до паразитних амплітудної і фазової модуляції корисного сигналу. Адитивні завади створюють маскувальний шум, на тлі якого спостерігаються корисні сигнали. За своїм характером завади розділяються на регулярні (детерміновані) і випадкові (статистичні), способи фільтрації яких різні [1, 2]. У табл. 1 надана класифікація основних видів завад.

Для ефективної роботи РСА, що встановлюються на БпЛА, принципово важливим є точне визначення параметрів польоту БпЛА, оскільки через відносно низьку масу і швидкість польоту вони суттєво змінюються під впливом турбулентності атмосфери, вібрацій двигунів, похибок бортового обладнання. До основних завад (чинників), що спричиняють похибки визначення параметрів польоту БпЛА, можна віднести траєкторну нестабільність БпЛА, пружні коливання конструкції, похибки системи управління та похибки інерціальних вимірювачів. Розглянемо детальніше ці фактори.

**Аналіз залежності характеристик роботи РСА від похибок визначення параметрів польоту БпЛА.** При формуванні РЛ зображення в РСА відбувається управління як реальною, так і синтезованою діаграмами спрямованості (СДС) антени. Закони управління визначаються заданим видом огляду земної поверхні. При цьому сканування СДС здійснюється шляхом використання

© М. Д. ОГОРОДНІЙЧУК, С. О. ПОНОМАРЕНКО, 2015

Таблиця 1. Класифікація основних видів завад при роботі РСА

Тип завади	Вид завади	Характер завади
Адитивна	Відбиття від тла місцевості	Випадкова
	Внутрішні шуми приймача	Випадкова
	Активна перешкода	Випадкова
Адитивна, мультиплікативна	Пасивна перешкода	Випадкова
Мультиплікативна	Нестабільність функції відображення об'єкта	Детермінована, випадкова
	Неоднорідність середовища поширення	Випадкова
	Траєкторні нестабільності РЛС	Детермінована, випадкова
	Нестабільність роботи блоків РЛС	Детермінована, випадкова

відповідних опорних функцій. Однак незалежно від виду огляду характер і параметри сигналів управління визначаються або апріорними даними про режим польоту, або апостеріорними значеннями параметрів руху БпЛА. Якщо вид траєкторії фазового центра антени, на яку розрахована опорна функція (опорна траєкторія), фіксований і відомий, то опорна функція може бути заздалегідь введена в пам'ять системи обробки. При довільній опорній траєкторії, коли вона змінюється від одного інтервалу корекції до іншого, опорна функція розраховується для кожного інтервалу окремо під час польоту на основі визначення параметрів руху БпЛА.

Як фіксовану траєкторію польоту БпЛА зазвичай використовують прямолінійну траєкторію. У найпростішому випадку бокового огляду при рівномірному прямолінійному польоті для формування РЛЗ, у принципі, потрібно вимірювати лише шляхову швидкість БпЛА  $V_a$ . Однак реально жоден літальний апарат не може літати цілком рівномірно і прямолінійно. І в першу чергу, це твердження відноситься до такого виду носіїв РСА, як БпЛА.

Справа в тому, що при польоті БпЛА в атмосфері відбувається безперервна зміна напрямку і швидкості вітру, тиску і густини повітря і т. п., у зв'язку з чим виникають випадкові відхилення режиму польоту БпЛА від заданого. Система управління БпЛА, з одного боку, не завжди встигає реагувати на всі ці зміни і підтримувати заданий режим польоту, з іншого боку, – сама вносить елементи випадковості в рух БпЛА. Найбільш характерним прикладом у цьому відношенні є помилки пілотування з боку оператора БпЛА. Усякі випадкові відхилення від заданого режиму польоту прийнято називати траєкторними нестабільностями (ТН). До ТН відносять відхилення БпЛА від програмної траєкторії польоту, його кутові коливання, випадкові зміни модуля і напрямку вектора швидкості і т. п.

Траєкторні нестабільності є реакцією БпЛА як твердого тіла на вплив турбулентної атмосфери і шумів системи управління. Разом з тим, варто мати на увазі, що конструкція БпЛА є гнучкою. Пружні зсуви елементів конструкції БпЛА під дією аеродинамічних сил при польоті в турбулентній

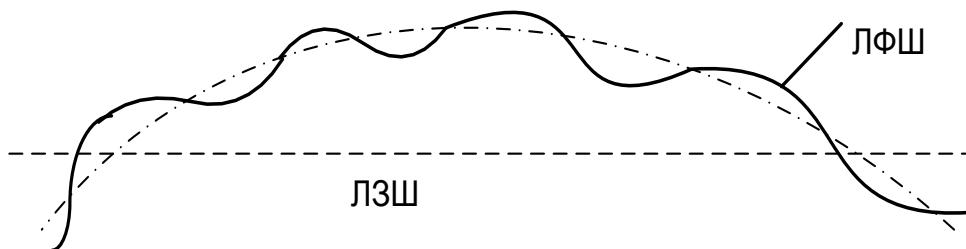


Рис. 1. Типовий вид ліній заданого і фактичного шляху носія РСА

атмосфері називають пружними коливаннями конструкції (ПКК). У реальних умовах польоту ТН і ПКК діють на роботу РСА одночасно і викликають випадкові відхилення траєкторії фазового центра антени від опорної, що ілюструється рис. 1. На рисунку штриховою лінією показана лінія заданого шляху (ЛЗШ), штрих-пунктиром – відхилення від неї через ТН, а суцільною – лінія фактичного шляху (ЛФШ) з урахуванням ТН і ПКК. Випадкові відхилення від заданого режиму польоту притаманні всім літальним апаратам.

В умовах польоту через ТН і ПКК фіюзеляж носія згинається, що призводить до похибок визначення модуля і кутової орієнтації вектора „ціль – фазовий центр антени РСА”. Наприклад, для транспортного літака пружні деформації середньої частини фіюзеляжу, де зазвичай встановлюється антена РСА, досягають величин 30 кут. хв. При розмірі антени  $L_{\text{гориз}} = 1,5$  м ці деформації в польоті призводять до похибок визначення фазового центра антени РСА до 1,5 мм.

Для компенсації траєкторних нестабільностей і пружних коливань конструкції, що впливають на синтезування апертури, в сучасних РСА передбачається спеціальна система їх компенсації, яка створюється з використанням інерціальних вимірювачів. Вимогами до таких систем компенсації є забезпечення визначення відхилень траєкторії носія РСА із похибками не більше 1 мм для довжини хвилі 3 см [1].

При фіксованій опорній траєкторії ТН і ПКК викликають амплітудні і фазові спотворення відбитих сигналів РСА, що називають траєкторними. У результаті появи траєкторних спотворень оптимальність обробки сигналів порушується. З ростом інтенсивності спотворень погіршується роздільна здатність РСА за азимутом, збільшуються помилки

у визначенні координат об'єктів, звужується динамічний діапазон сигналів РЛЗ. У деяких випадках зображення може бути цілком зруйноване.

Для одержання якісного радіолокаційного зображення і поліпшення роздільної здатності РСА необхідно точно знати координати фазового центра антени і швидкість руху носія РСА. У результаті теоретичних і експериментальних досліджень, а також моделювання на ЕОМ доведена неможливість забезпечення стійкого зображення без застосування спеціальних заходів стосовно ТН і ПКК [1, 2]. У зв'язку із цим задача вивчення впливу ТН і ПКК БпЛА на відхилення фазового центра антени РСА БО та компенсації їх впливу набуває надзвичайної актуальності.

Вплив ТН на характеристики РСА має різний характер. Ступінь впливу залежить від максимального збільшення фази на краях інтервалу синтезування. Наприклад, постійна помилка в радіальному прискоренні, що викликає квадратичне збільшення фази на інтервалі синтезування, призводить до погіршення роздільної здатності РСА і зменшення динамічного діапазону. Помилки вимірювань радіальної швидкості і радіального прискорення, що враховуються при побудові опорної функції, обумовлені помилками визначення координат і швидкості носія.

Узагальнено вплив помилок визначення параметрів польоту БпЛА на характеристики РСА подано у табл. 2 [3, 4, 5], де  $\Delta_1$  – помилка визначення координат об'єкта;  $\Delta_2$  – загальний зсув зображення;  $\Delta_3$  – погіршення роздільної здатності уздовж лінії шляху;  $\Delta_4$  – погіршення роздільної здатності перпендикулярно лінії шляху;  $\Delta_5$  – зсув зображення по азимуту;  $\Delta_6$  – зсув зображення по дальності;  $\Delta_7$  – втрата яскравості зображення;  $\Delta_8$  – збільшення бокових пелюстків діаграми спрямованості антени.

Таблиця 2. Вплив помилок визначення параметрів польоту БпЛА на характеристики РСА

Похибки визначення параметрів польоту БпЛА		$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	$\Delta_4$	$\Delta_5$	$\Delta_6$	$\Delta_7$	$\Delta_8$
Вздовж лінії шляху	Координати	+							
	Швидкість			+					+
	Прискорення			+		+		+	+
По висоті	Координати	+							
	Швидкість		+						
	Прискорення			+	+		+	+	+
Перпендикулярно лінії шляху	Координати								
	Швидкість		+						
	Прискорення			+	+			+	

Аналіз вимог до точності координатно-часового забезпечення сучасних РСА авіаційного базування показує, що для одержання високої роздільної здатності припустимі похибки вимірювання радіального прискорення мають бути не більшими  $10^{-4}$  м/с<sup>2</sup>, швидкості – 0,01...0,3 м/с, похилої дальності до цілі – 0,01...0,1 м [3].

Ядром штатного пілотажно-навігаційного обладнання БпЛА, як правило, є інерціальні навігаційні системи, що призначені для визначення навігаційних параметрів БпЛА у визначеній системі координат. Смуга частот пропускання цих систем є набагато вузькою, ніж спектр частот ТН, що дозволяє з їх допомогою визначити лише низькочастотні відхилення БпЛА від заданої траєкторії польоту. Таке пілотажно-навігаційне обладнання не повністю задовольняє вимоги до компенсації ТН. Для цієї задачі необхідні вимірювальні засоби і алгоритми, що можуть визначити, враховувати і компенсувати широкосмугові шуми і забезпечувати малі помилки на інтервалі синтезування [6].

Через ТН, ПКК, похибки інерціальних вимірювачів та з інших причин можуть виникати похибки кутового положення діаграми спрямованості антени, радіальної швидкості і прискорення.

У першому наближенні ТН і ПКК можна вважати стаціонарними випадковими процесами з нульовим математичним сподіванням і кореляційною функцією лінійних і кутових відхилень виду [4]

$$R_i \approx D_i \exp \left\{ -\tau^2 / T_i^2 \right\} \cos [\pi \tau / 2 \tau_i], \quad (1)$$

де  $D_i$  – дисперсія лінійного (кутового) відхилення;  $\tau_i^3 T_i$  – параметри функції кореляції, причому  $T_i \gg \tau_i$ . Для часу синтезування апертури  $T \leq 1$  с справедливі співвідношення  $T_i \gg \tau_i > T$  для ТН і  $T_i > \tau_i \gg T$  для ПКК.

Конкретні параметри ТН і ПКК залежать від типу БпЛА. Так,  $\tau_i$  для ТН можуть коливатись у межах 2...12 с, для кутових коливань – 1...5 с, а для ПКК, зазвичай, мають значення менше 1 с. Значення  $T_i$  можна охарактеризувати співвідношенням  $T_i / \tau_i = 5...10$ . Середньоквадратичне значення (СКЗ) лінійних відхилень для ТН складають від одиниць до десятків метрів, кутових відхилень по крену і курсу – до 1...2° (по тангажу – в 3...5 разів менше), а для пружних коливань – від десятих часток міліметра до кількох сантиметрів у залежності від гнучкості конструкції і її положення на БпЛА.

На спотворення сигналу РСА впливають атмосферні неоднорідності (тропосферні флуктуації

амплітуди і фази), приймально-передавальні блоки РСА і флуктуації при перевідбитті радіолокаційного сигналу. Середньоквадратичне відхилення спотворень фази сигналу під впливом цих джерел завад може досягати одиниць градусів, а середньоквадратичне відхилення спотворень фази сигналу через ТН, ПКК і похибки інерціальних вимірювачів може досягати десятків і навіть сотень градусів [4].

При фіксованій опорній траєкторії можливим варіантом рішення задачі компенсації впливу ТН і ПКК є вимірювання параметрів руху БпЛА, обчислення на цій основі відхилення фазового центра антени від опорної траєкторії і корекція відбитого сигналу з урахуванням обчисленого відхилення. При цьому, у свою чергу, виникає питання про склад, структуру і характеристики вимірювачів параметрів руху БпЛА.

На жаль, штатні навігаційні засоби БпЛА, які призначені для його управління, не забезпечують точність визначення істинних параметри руху БпЛА, яка необхідна для роботи РСА. Виникає потреба в додатковій компенсації низькочастотних і високочастотних складових похибок навігаційних вимірювань. При довільній опорній траєкторії питання про вимірювання параметрів руху БпЛА стає настільки важливим, що всі інші задачі, які пов'язані з розробкою РСА, можна вирішувати лише після його закриття.

Для більш точного, ніж дає формула (1), врахування і компенсації низькочастотного впливу ТН і ПКК пропонується використовувати навігаційні параметри польоту БпЛА, що визначені за допомогою штатної інерціальної навігаційної системи БпЛА або приймальної апаратури супутникової навігаційної системи, а також додаткового блока інерціальних вимірювачів, який встановлюється поблизу фазового центра антени РСА.

Для зменшення впливу високочастотних похибок на роботу РСА пропонується застосовувати алгоритм адаптивного квазіоптимального локально-ковзного згладжування (ЛКЗ) даних однопараметричних рівноточних вимірювань впливу ТН і ПКК [7].

**Алгоритм адаптивного квазіоптимального локально-ковзного згладжування.** Вихідні дані: дані вимірювань  $\xi$  параметрів з постійним інтервалом дискретизації  $t_d$  і похибками вимірювань з дисперсією  $\sigma_\xi^2$ .

Необхідно здійснити ЛКЗ з метою зменшення швидко флуктуючих помилок.

Розв'язання задачі здійснюється в 4 етапи, якими є: побудова системи ортогональних базисних функцій (ОБФ);

оптимальна оцінка коефіцієнтів згладжувального степеневого полінома (ЗСП);

оптимізація степені  $\hat{m}$  і структури ЗСП;

розрахунок значень згладженого  $\hat{\xi}$  параметра, його похідних  $\hat{\xi}^s$  і оцінка їх дисперсій  $\sigma_{\hat{\xi}^s}^2$ ,  $s = 0, 1, 2, \dots$

1. Для розв'язання задачі визначаємо: тривалість інтервалу ЛКЗ так, щоб на ньому було розташовано непарне число точок  $n$ ; максимально можливу ступінь  $m_{max}$  ЗСП, істотно меншу, ніж  $n$ . Початок відліку локального часу  $t$  суміщаємо з середньою точкою інтервалу ЛКЗ. Вибираємо як перші два ОБФ  $p_0(t) = t^0 = 1$ ;  $p_1(t) = t^1 = t$ .

Розраховуємо решту ОБФ за формулою

$$p_k(t) = t p_{k-1}(t) - \alpha_{k-2} p_{k-2}(t) \quad 2 \leq k \leq m_{max}, \quad (2)$$

де допоміжний коефіцієнт

$$\alpha_{k-2} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i p_{k-1}(t_i) p_{k-2}(t_i)}{\sum_{i=1}^n [p_{k-2}(t_i)]^2}.$$

Визначаємо похідні  $p_k^s(t)$   $s = 1, 2$  і т.д., якщо необхідно буде визначати похідні ЗСП.

Раз побудована система ОБФ і їх похідних може використовуватись багато разів на різних за номерами інтервалах ЛКЗ і навіть при згладжуванні різних параметрів за умови однакових  $t_d$ ,  $n$  і якщо в межах кожного параметра дані вимірювань є рівноточними.

2. Оптимізація коефіцієнтів ЗСП і визначення їх дисперсій робиться за формулами

$$\hat{a}_k = \frac{\sum_{i=1}^n p_k(t_i) \xi_i}{\sum_{i=1}^n [p_k(t_i)]^2}; \quad \sigma_{\hat{a}_k}^2 = \frac{\sigma_{\xi}^2}{\sum_{i=1}^n [p_k(t_i)]^2}, \quad 0 = k \leq m_{max} \quad (3)$$

3. Оптимізація степені  $\hat{m}$  і структури ЗСП здійснюється за алгоритмами:

А: якщо  $n \leq 10$ , то  $\alpha = 0,05$ , якщо  $10 < n < 20$ , то  $\alpha = 0,025$ , інакше  $\alpha = 0,005$ .

Б: для  $0 \leq m \leq m_{max}$  визначаються суми зважених квадратів відхилень  $\xi$  параметрів за формулами

$$Q(m) = \frac{1}{\sigma_{\xi}^2} \sum_{i=1}^n (\xi_i - \tilde{\xi}_i)^2, \quad \text{де } \tilde{\xi}_i = \sum_{k=0}^m \hat{a}_k p_k(t_i); \quad (4)$$

або

$$Q(m) = Q(m-1) - \frac{\hat{a}_m^2}{\sigma_{\hat{a}_m}^2}, \quad (5)$$

де  $Q(-1)$  розраховується до початку циклу по  $t$  за формулою

$$Q(-1) = \frac{1}{\sigma_{\xi}^2} \sum_{i=1}^n \xi_i^2. \quad (6)$$

В: оптимізація степені  $\hat{m}$  і структури ЗСП здійснюється за критерієм  $\alpha$  значущості Фішера:

для  $0 \leq m \leq m_{max}$ , якщо  $\frac{\hat{a}_m^2}{\sigma_{\hat{a}_m}^2} = \frac{\hat{a}_m^2 (n - m - 1)}{\sigma_{\hat{a}_m}^2 Q(m)} \geq F_{1, n-m-1, \alpha}$ ,

то  $\hat{m}_1 = m$ ;

для  $0 \leq k \leq m_{max}$ , якщо  $\frac{\hat{a}_k^2}{\sigma_{\hat{a}_k}^2} = \frac{\hat{a}_k^2 (n - \hat{m}_1 - 1)}{\sigma_{\hat{a}_k}^2 Q(\hat{m}_1)} \geq F_{1, n-\hat{m}_1-1, \alpha}$ ,

то  $\hat{m}_2 = k$ .

Г: уточнення оптимальної структури ЗСП:

для  $0 \leq k \leq m_{max}$ , якщо  $\frac{\hat{a}_k^2}{\sigma_{\hat{a}_k}^2} = \frac{\hat{a}_k^2 (n - \hat{m}_2 - 1)}{\sigma_{\hat{a}_k}^2 Q(\hat{m}_2)} \geq F_{1, n-\hat{m}_2-1, \alpha}$ ,

то  $\hat{m} = k$ ,

$a_k^* = \hat{a}_k$ ,  $\sigma_{a_k^*}^2 = \frac{\sigma_{\hat{a}_k}^2 Q(\hat{m})}{n - \hat{m} - 1}$ , інакше  $a_k^* = 0$ ,  $\sigma_{a_k^*}^2 = 0$ ;

якщо  $\left| \frac{Q(\hat{m}) - Q(\hat{m}_2)}{Q(\hat{m}) + Q(\hat{m}_2)} \right| > \varepsilon$ , то  $\hat{m}_2 = \hat{m}$ ,  $Q(\hat{m}_2) = Q(\hat{m})$  і по-

вторно виконуються оператори, починаючи з мітки Г, інакше робиться перехід до виконання 4-го етапу.

4. Розраховуємо значення згладженого параметра, його похідних і їх дисперсій за формулами

$$\hat{\xi}^s(t_i) = \sum_{k=1}^{\hat{m}} a_k^* p_k^s(t_i), \quad \hat{\sigma}_{\hat{\xi}^s}^2 = \sum_{k=1}^{\hat{m}} \sigma_{a_k^*}^2 [p_k^s(t_i)]^2. \quad (7)$$

Слід мати на увазі таке:

оптимальна  $\hat{m}$  ступінь, структура і коефіцієнти ЗСП у загальному випадку змінюються зі зміною інтервалів ЛКЗ, автоматично пристосовуючись до поточної форми параметра, дані вимірювань якого піддаються згладжуванню;

найвища точність згладжування забезпечується в центрі інтервалу ЛКЗ, тому на першому інтервалі ЛКЗ  $\hat{\xi}^s$  і  $\sigma_{\hat{\xi}^s}^2$  розраховуємо в точках з номерами  $1 \leq i \leq (n+1)/2$ , на останньому інтервалі ЛКЗ  $\hat{\xi}^s$  і  $\sigma_{\hat{\xi}^s}^2$  розраховуємо в точках з номерами  $(n+1)/2 \leq i \leq n$ , на решті інтервалів в ЛКЗ  $\hat{\xi}^s$  і  $\sigma_{\hat{\xi}^s}^2$  розраховуємо тільки в точці з номером  $i = (n+1)/2$ ;

результатами згладжування можуть бути: вказані вище номери точок інтервалів ЛКЗ, перераховані в номери точок на інтервалі вимірювань, згладжені значення  $\hat{\xi}^s$  параметрів їх СКП  $\sigma_{\hat{\xi}^s}$  у цих точках;

значення оптимальної степені ЗСП на відповідних інтервалах.

Крім того, доцільно накопичувати відомості про оцінку дисперсії швидко змінюваних помилок на інтервалі вимірювань

$$\hat{\sigma}_{\xi}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{n_p} [\xi_j - \hat{\xi}_j]^2}{n - m_{\nu} - 1} \quad (8)$$

окремо для кожного вимірюваного параметра.

Алгоритм адаптивного квазіоптимального локально-ковзного згладжування досліджувався в широкому діапазоні умов при  $\Delta t = 1$  с,  $n = 9, 13, 17, 19, 21, 25$ ,  $n/m = 4$ ,  $m_{max} = 6$ , змінюванні  $\xi = 7500 \dots 16000$  умовних одиниць,  $\sigma_{\xi} = 1, 5, 15, 45$  умовних одиниць, кількості траєкторій 6840, некорельованих і корельованих похибках вимірювань з часом кореляції  $\tau_k = 0, 1, 3, 5$  с і періодом коливань  $T_k = 6,28$  і  $11$  с.

Дослідження з використанням F критерію значущості Фішера показали, що при згладжуванні даних:

- з некорельованими похибками середній виграш в точності  $W = 2,46$ , відсоток програшів  $4,2\%$  з максимальним програшем  $2,7$ ;

- з корельованими похибками середній виграш в точності  $W = 1,48$ , відсоток програшів  $2,65\%$  з максимальним програшем  $1,72$ .

На реальних даних при  $\tau = 1 \dots 1,3$  с,  $\sigma_{\xi} = 10 \dots 15$  умовних одиниць, 940 траєкторій, кореляція похибок при обробці не враховувалась, результати: виграш в точності: середній по інтервалу –  $2,31$ , всередині інтервалу –  $3,16$ , на краях –  $1,41$ . Відсоток програшів –  $0,5\%$  з максимальним програшем  $1,03$ .

Застосування запропонованого алгоритму при синтезуванні апертури антени авіаційних РСА дозволить у  $1,5 \dots 3$  рази покращити точність визначення і компенсації високочастотних завад від пружних

коливань конструкції безпілотної літальної апарата, що зменшить їх вплив на роботу РСА.

### Список використаної літератури

1. Кондратенков Г. С. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли : учеб. пособие для вузов / Г. С. Кондратенков, А. Ю. Фролов; под ред. Г. С. Кондратенкова. – М. : Радиотехника, 2005. – 368 с.
2. Радиолокационные станции обзора Земли / под ред. Г. С. Кондратенкова. – М. : Сов. радио, 1983. – 286 с.
3. Добриков В. А. Определение траектории авиационного носителя радиолокатора с синтезированной апертурой / В. А. Добриков, В. А. Авдеев, Д. А. Гаврилов // Известия ВУЗ-ов. Сер. Приборостроение. – 2009. – Том 52. – № 1. – С. 10–14.
4. Антипов В. Н. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / В. Н. Антипов, В. Т. Горяинов; под ред. В. Т. Горяинова. – М. : Сов. радио, 1988. – 286 с.
5. Неронский Л. Б. Микроволновая аппаратура дистанционного зондирования поверхности Земли и атмосферы. Радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны : учеб. пособие / Л. Б. Неронский, В. Ф. Михайлов, И. В. Браги. Ч. 2. – СПб : СПбГУАП, 1999. – 220 с.
6. Огороднийчук М. Д. Узагальнений алгоритм сумісної обробки на борту ЛА навігаційних даних вимірювачів з елементами наземного, повітряного і космічного базування / М. Д. Огороднийчук // Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – 2005. – Вип. 1 (8). – С. 97 – 107.
7. Огороднийчук Н. Д. Обработка траекторной информации / Н. Д. Огороднийчук. Ч. 2. Адаптивное оптимальное сглаживание. – К. : КВВА-ИУ, 1986. – 224 с.

УДК 623.644

**О. А. ЧОРНОКНИЖНИЙ**, канд. техн. наук, **Р. Г. САВЧУК**, інж. (Нац. ун-т оборони України ім. Івана Черняхівського, Ін-т інформац. технологій, м. Київ)

## ВИБІР ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПЕРАТИВНОГО КОМАНДУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНИМИ КАРТАМИ ТА ФОТОДОКУМЕНТАМИ ЩОДО МІСЦЕВОСТІ В ОБОРОННІЙ ОПЕРАЦІЇ

Проаналізовано процес функціонування системи забезпечення спеціальними картами та фотодокументами щодо місцевості у збройних силах провідних країн світу, основні завдання топогеодезичного забезпечення оперативного командування в операції та вимоги військ (сил) до нього. Визначено та обґрунтовано показники ефективності функціонування системи забезпечення спеціальними картами та фотодокументами щодо місцевості в оборонній операції.

Проанализированы процесс функционирования системы обеспечения специальными картами и фотодокументами местности в вооруженных силах ведущих стран мира, основные задания топогеодезического обеспечения оперативного командования в операции и требования войск (сил) к нему. Определены и обоснованы показатели эффективности функционирования системы обеспечения специальными картами и фотодокументами о местности в оборонной операции.

The need for troops in permanent and objective definition and receiving topogeodesic output data for better planning and warfare, use of weapons and military equipment, increasing demands for speed, accuracy and reliability of baseline topogeodetic information, which are caused by high dynamics of modern operations, development precision strike systems and systems change their tactical and technical characteristics and increased combat capabilities, the introduction of the automated systems of control of troops and weapons, the need to respond quickly to changing circumstances determine the need to improve the existing system of special maps and photographs of the area of combined association.

In the article the definition and justification of the performance system of special maps and photographs of the area operational command of defense operations. The main components of the generalized performance indicator system of special maps and photographs of the area given the tasks entrusted to it, defined parameters: efficiency, accuracy and reliability.

The notes will be the basis for further research on improving the system of special maps and photographs of the area operational command.

Потреба військ (сил) у постійному й об'єктивному визначенні та отриманні топогеодезичних даних з метою більш ефективного планування та ведення операцій (бойових дій), застосування зброї і військової техніки, підвищення вимог до оперативності, точності та надійності визначення топогеодезичної інформації, що зумовлено високою динамікою сучасних операцій (бойових дій), розвитком високоточних ударних комплексів і систем, змінами їхніх тактико-технічних характеристик і посиленням бойових можливостей, впровадженням автоматизованих систем управління

військами та зброєю, потребою оперативного реагування на зміну ситуації визначають необхідність удосконалення існуючої системи забезпечення оперативного командування (ОК) спеціальними картами та фотодокументами щодо місцевості. Досвід виконання завдань топогеодезичного забезпечення свідчить про необхідність підвищення ефективності функціонування існуючої системи забезпечення.

Виникає невідповідність між збільшенням обсягу й розширенням переліку специфічних завдань, які покладено на систему забезпечення ОК

© О. А. ЧОРНОКНИЖНИЙ, Р. Г. САВЧУК, 2015

спеціальними картами та фотодокументами про місцевість в нових умовах, та неповним використанням її можливостей.

Аналіз літератури, останніх досліджень та публікацій з питань удосконалення системи забезпечення спеціальними картами та фотодокументами про місцевість у збройних силах провідних країн світу, завдань топогеодезичного забезпечення ОК у операції та вимог військ (сил) показав, що сучасні принципи організації системи забезпечення спеціальними картами та фотодокументами про місцевість у Збройних Силах України впроваджуються недостатньо ефективно [1].

Мета даної статті – визначення показників ефективності функціонування системи забезпечення ОК спеціальними картами та фотодокументами про місцевість в оборонній операції та їхнє обґрунтування.

Під час забезпечення повсякденної діяльності військ (сил), а також при підготовці та в ході ведення бойових дій військам (силам) необхідна додаткова інформація про окремі рубежі, ділянки та об'єкти місцевості, що на топографічних картах не відображаються. Крім того, з появою нових засобів збройної боротьби стали необхідними нові методи та форми подання інформації про місцевість. Тому додатково до топографічних карт частинами топографічної служби виготовляються й доводяться до органів управління та військ (сил) спеціальні карти та фотодокументи про місцевість. Вони містять у собі додаткову (до топографічних карт) топогеодезичну інформацію, яка необхідна командирам та штабам для вивчення й оцінки характеру та властивостей об'єктів місцевості для прийняття рішення, а також з метою більш ефективного використання систем озброєння та бойової техніки. У зв'язку з цим актуальними залишатимуться завдання щодо створення спеціальних карт та фотодокументів про місцевість, накопичення, а також зберігання їхніх запасів.

У відповідності до теорії дослідження операцій [2, 3, 4, 5] якість функціонування будь-якої системи оцінюється за допомогою показників ефективності, під якими слід розуміти таку числову характеристику системи, яка виражає ступінь застосування (придатності) системи до виконання поставлених перед нею завдань, тобто ступінь досягнення мети функціонування системи. Так, основними вимогами, які ставляться до показника ефективності функціонування системи

забезпечення ОК спеціальними картами та фотодокументами про місцевість в оборонній операції [2, 6], є:

- чітка відповідність показника меті функціонування системи забезпечення ОК спеціальними картами та фотодокументами про місцевість;
- наявність фізичного змісту показника;
- можливість кількісного визначення показника та порівняно легкий його підрахунок;
- чуттєвість показника до змін параметрів, що аналізуються;
- стійкість показника.

Оцінка ефективності системи забезпечення ОК спеціальними картами та фотодокументами про місцевість необхідна при дослідженні ефективності системи в динаміці: за періодами її функціонування в оборонній операції. Це означає потребу використання системи показників, які відображатимуть результативність для системи забезпечення ОК спеціальними картами та фотодокументами про місцевість за періодами оборонної операції. На сьогодні в теорії управління запасами розроблено широкий спектр показників [6]. Але при виборі необхідних показників виникає ряд проблемних питань, одне з яких методичного характеру.

Його сутність полягає в тому, що хоча система забезпечення ОК спеціальними картами та фотодокументами про місцевість в цілому й нагадує систему управління будь-якими запасами, але оцінювати її ефективність тільки з фінансової сторони, як це робиться в суто економічних завданнях, буде не зовсім слушно. Крім того, особливістю її функціонування є те, що вона власними силами створює відповідну продукцію (спеціальні карти та фотодокументи про місцевість) та доводить її до користувачів.

На сьогодні не існує єдиного підходу до методики оцінки самої ефективності функціонування системи управління запасами. Так, широке розповсюдження отримало визначення ефективності на основі співвідношення результатів, які досягнуто в процесі функціонування системи, та витрат на їх досягнення.

Але існує й інший підхід до визначення ефективності функціонування системи. Особливістю його полягає в тому, що при оцінці ефективності, як правило, використовується не співвідношення «фактичний результат – фактичні витрати», а співвідношення «фактичний результат – потенційно можливий результат». Щодо оцінки ефективності функціонування системи забезпечення ОК

спеціальними картами та фотодокументами про місцевість в оборонній операції це може означати таке. У випадку наявності в системі забезпечення військ (сил) спеціальних карт та фотодокументів про місцевість показник запасів спеціальних карт та фотодокументів про місцевість, ефективність дій системи управління запасами можна оцінити за ступенем відхилення фактичних параметрів запасів від їхніх нормативних значень. І це буде вірно, тому що потреба – оптимальна величина запасів спеціальних карт та фотодокументів про місцевість за обсягом і структурою, що забезпечує досягнення визначеної мети створення запасу даних документів. Також показник визначається з урахуванням всіх умов та обмежень, які встановлюються для системи забезпечення військ (сил) спеціальними картами та фотодокументами про місцевість. Ступінь відхилення від показника й буде найбільш точно характеризувати ефективність діючої системи забезпечення [6].

У загальному комплексі забезпечення ОК спеціальними картами та фотодокументами про місцевість одним із важливих буде завдання з формування запасів даних документів за всіма задачами, які вирішуються військами ОК, та виходячи з призначення документів (усіх масштабів та номенклатур) [6, 7]. Створення запасів спеціальних карт та фотодокументів про місцевість, які б відповідали потребам органів управління, частин ОК за видами, кількістю та переліком номенклатур аркушів спеціальних карт, видами та кількістю фотодокументів є основою підвищення ефективності функціонування системи забезпечення військ (сил). Це обумовлює необхідність включення в загальну систему показників ефективності системи забезпечення ОК спеціальними картами та фотодокументами про місцевість в оборонній операції показника, який би характеризував стан структури їхнього призначення (враховуючи номенклатури карт та масштаб).

Як такий можливо розглядати показник, що буде характеризувати співвідношення фактичного (наявного) та визначеного (встановленого) обсягу (загальної кількості примірників) спеціальних карт та фотодокументів про місцевість. Важливим для оцінки та прийняття управлінського рішення відносно запасу спеціальних карт та фотодокументів, є наявність інформації щодо надлишкових або недостатніх запасів у системі забезпечення ОК

спеціальними картами та фотодокументами про місцевість.

Як загальний показник вважаємо необхідним розглядати ступінь дотримання встановленого показника запасів та відносний розмір відхилень від його обсягу. Основою для дослідження абсолютних значень відхилень є положення про те, що як недостатність, так і надлишковий запас за окремими видами (номенклатурами) спеціальних карт та фотодокументів є негативним моментом у діяльності системи забезпечення ОК ними. Це означає, що існування відхилень як в один, так і в інший бік негативно для системи забезпечення ОК спеціальними картами та фотодокументами про місцевість, яка прагне до організації ефективної діяльності [7].

Це все стало основою для вибору з більш широкого переліку показників, що розроблений в рамках теорії управління запасами, показників ефективності функціонування системи забезпечення ОК спеціальними картами та фотодокументами про місцевість в оборонній операції, що надано в таблиці.

Такі визначення вже описані в літературі, як зазначено в роботі [6]. Але, на відміну від існуючої формули, визначення ступеня дотримання показника запасів змінено. Це пов'язано з тим, що значення показника з'являється в системі забезпечення ОК спеціальними картами та фотодокументами про місцевість лише в період безпосередньої підготовки оборонної операції та будуть змінюватися в ході її ведення.

Таким чином, на основі запропонованих показників стало можливим здійснювати оцінку ефективності функціонування системи забезпечення ОК спеціальними картами та фотодокументами про місцевість під час підготовки оборонної операції.

## Висновки

Аналіз заходів щодо забезпечення інформацією про місцевість у збройних силах провідних країн світу в ході локальних війн і збройних конфліктів останніх років та ведення антитерористичної операції на сході нашої держави щодо забезпечення військ спеціальними картами та фотодокументами про місцевість дозволяє сформулювати висновки та пропозиції, реалізація яких повинна сприяти підвищенню ефективності топогеодезичного забезпечення Збройних Сил України в сучасних умовах.

**Таблиця. Показники ефективності функціонування системи забезпечення ОК спеціальними картами та фотодокументами про місцевість в оборонній операції**

Назва показника	Визначення показника	Аналітичні можливості
Показник співвідношення фактичної та необхідної кількості видів спеціальних карт	$K_{вск} = \frac{A_{фск}}{A_n},$ <p>де <math>A_{фск}</math> – фактична кількість видів спеціальних карт на складах;  <math>A_n</math> – кількість видів (номенклатур) спеціальних карт за заявками військ (сил).</p>	Ступінь досягнення нормативної широти видів (номенклатур), вплив запасів спеціальних карт на ступінь задоволення потреб органів управління, частин.
Показник співвідношення фактичного та необхідного обсягу (загальна кількість примірників всіх номенклатур) спеціальних карт	$K_{засск} = \frac{A_{засск}}{A_{np}},$ <p>де <math>A_{засск}</math> – загальна кількість примірників всіх номенклатур спеціальних карт на складах;  <math>A_{np}</math> – загальна кількість примірників всіх номенклатур спеціальних карт за заявками військ (сил).</p>	Ступінь досягнення нормативної широти загального показника, вплив запасів спеціальних карт на ступінь задоволення потреб органів управління, частин.
Показник співвідношення фактичної та необхідної кількості видів фотодокументів про місцевість	$K_{фдо} = \frac{A_{фдо}}{A_n},$ <p>де <math>A_{фдо}</math> – фактична кількість видів фотодокументів про місцевість на складах;  <math>A_n</math> – кількість видів (номенклатур) фотодокументів про місцевість за заявками військ (сил).</p>	Ступінь досягнення нормативної широти видів (номенклатур), вплив запасів фотодокументів про місцевість на ступінь задоволення потреб органів управління, частин.
Показник співвідношення фактичного та необхідного обсягу загальної кількості примірників фотодокументів про місцевість	$K_{засфдо} = \frac{A_{засфдо}}{A_n},$ <p>де <math>A_{засфдо}</math> – загальна кількість примірників всіх номенклатур фотодокументів на складах;  <math>A_n</math> – загальна кількість примірників всіх номенклатур фотодокументів за заявками військ (сил).</p>	Ступінь досягнення нормативної широти загального показника (номенклатури), вплив запасів фотодокументів про місцевість на ступінь задоволення потреб органів управління, частин.
Показник концентрації запасів спеціальних карт та фотодокументів у відповідній ланці геоінформаційної служби (місце розміщення)	$K_{спі} = \frac{TZ_i}{TZ},$ <p>де <math>TZ_i</math> – фактичний розмір запасів спеціальних карт та фотодокументів, що знаходяться у відповідній ланці геоінформаційної служби або в місці розташування (складі топокарт);  <math>TZ</math> – загальний розмір запасу спеціальних карт та фотодокументів.</p>	Оцінка ефективності розміщення з точки зору розподілу зберігання запасів спеціальних карт та фотодокументів про місцевість у різних ланках геоінформаційної служби (місцях розташування).
Ступінь дотримання показника запасів спеціальних карт та фотодокументів	$K_{от} = \sqrt{\frac{(TZ_i - NTT)^2}{n}} \cdot 100,$ <p>де <math>TZ_i</math> – фактичний розмір запасів спеціальних карт та фотодокументів під час підготовки та ведення оборонної операції;  <math>NTT</math> – встановлений показник запасів;  <math>n</math> – кількість спостережень за запасами.</p>	Ступінь дотримання встановленого показника запасів спеціальних карт та фотодокументів й відносний розмір відхилень від його обсягу.

Потреба військ у постійному й об'єктивному визначенні та отриманні топогеодезичних даних з метою більш ефективного планування та ведення бойових дій, застосування зброї і військової техніки, підвищення вимог до оперативності, точності та надійності визначення топогеодезичної інформації, які зумовлено високою динамікою сучасних операцій, розвитком високоточних ударних комплексів і систем, змінами їхніх тактико-технічних характеристик і посиленням бойових можливостей, впровадженням автоматизованих систем управління військами та зброєю, потребою оперативного реагування на зміну ситуації визначають необхідність удосконалення існуючої системи забезпечення військ (сил) спеціальними картами та фотодокументами про місцевість.

У статті проведено визначення та обґрунтування показників ефективності функціонування системи забезпечення спеціальними картами та фотодокументами про місцевість ОК в оборонній операції. Основними складовими узагальненого показника ефективності системи забезпечення спеціальними картами та фотодокументами про місцевість, враховуючи завдання, що на неї покладено, визначені показники: ефективності функціонування, точності та надійності.

Розглянуті теоретичні положення буде покладено в основу подальших досліджень з питань удосконалення системи забезпечення оперативного командування спеціальними картами та фотодокументами про місцевість в операціях.

### Список літератури

1. *Чорнокнижний О. А.* Аналіз забезпечення збройних сил провідних країн світу спеціальними картами та фотодокументами про місцевість у локальних війнах і збройних конфліктах останніх років / О. А. Чорнокнижний, Р. Г. Савчук, С. В. Зотов // Зб. наук. праць ЦНДІ ЗС України, 2015. – № 2 (6). – С. 43–47.
2. *Чуєв Ю. В.* Исследование операций в военном деле / Ю. В. Чуєв. – М. : Воениздат, 1975. – 279 с.
3. *Кофман А.* Методы и модели исследования операций / А. Кофман. – М. : Мир, 1966. – 523 с.
4. *Саати Т. Н.* Математические методы исследования операций / Т. Н. Саати. – М. : Воениздат, 1963. – 419 с.
5. *Справочник по исследованию операций* / под общ. ред. проф. Ф. А. Матвейчука. – М. : Воениздат, 1973. – 478 с.
6. *Голованев Ю. П.* Применение основ теории вероятностей при оценке эффективности выполнения задач топогеодезического обеспечения войск и систем оружия / Ю. П. Голованев, В. Н. Филатов. – М. : ВИУ, 1998. – 65 с.
7. *Чорнокнижний О. А.* Система загальних показників ефективності побудови геоінформаційної системи військового призначення / О. А. Чорнокнижний // Зб. матер. наук.-прак. форум «Січневі ГІС», АСВ, 2013. – С. 105–115.

УДК 62-533.7

Є.В. ЛЕБІДЬ, ад'юнкт (Військ. ін-т телекомунікацій та інформатизації, м. Київ)

## ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ФАЗОВОГО АВТОПІДСТРОЮВАННЯ ЧАСТОТИ ДЛЯ СИНХРОНІЗАЦІЇ СИГНАЛІВ У СУЧАСНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Наведено принципи синхронізації, що повинні забезпечити роботу цифрових систем мережі в єдиних часових інтервалах. Указано, що збої в синхронізації завжди призводили до зниження якості послуг, які надавалися. Розглянуто метод організації передачі синхронізації в пакетних мережах Ethernet. Ця тема актуальна, оскільки на основі транспортної пакетної мережі з'являється все більше сервісів, критичних до суворих вимог із синхронізації.

Приведены принципы синхронизации, которые должны обеспечить работу цифровых систем сети в единых временных интервалах. Указано, что сбои в синхронизации всегда приводили к снижению качества предоставляемых услуг. Рассматривается метод организации передачи синхронизации в пакетных сетях Ethernet. Эта тема актуальна, поскольку на основе транспортной пакетной сети появляется все больше сервисов, критичных к суровым требованиям по синхронизации.

Principles of synchronization must provide work of the digital systems of network in only sentinel intervals. Failures in synchronization always resulted in the decline of quality of services which was given. In the article the method of organization of transmission of synchronization is examined in the package networks of Ethernet. This theme is actual, as all more services, critical to the severe requirements on synchronization, appear on the basis of a transport package network.

Всі системи цифрового зв'язку вимагають синхронізації сигналів, яка полягає у встановленні й підтримці точної часової відповідності сформованих у передавальній частині й прийнятих у приймальній частині сигналів. У статті розглянуто основи синхронізації різних рівнів у цифровому зв'язку. Синхронізація в багатоканальному цифровому зв'язку пов'язана зі завданнями демодуляції, декодування повідомлень, а також з комутацією й розподілом інформації споживачам. Для функціонування цифрової мережі зв'язку необхідно забезпечити доставку синхроінформації еталонного джерела синхронізації до всіх пристроїв мережі. При цьому інформацію щодо синхропараметрів сигналу отримують за допомогою пристрою синхронізації з коливальних, які прийнято, або ж вона надходить за окремим каналом.

**Вимоги до синхронізації в сучасних мережах.** Основна проблема в транспортних мережах нового покоління те, що технологія Ethernet спочатку проєктувалася для локальних обчислювальних мереж,

і ніколи не була призначена для передачі сигналів синхронізації. У мережах з комутацією каналів у останні десятиліття як в транспортне середовище домінує технологія синхронної цифрової ієрархії (SDH), в її основу покладено передачу синхросигналів. Але навіть ця надійна технологія, що добре себе зарекомендувала, не відповідає вимогам сучасних застосувань.

Слід зазначити, що передача синхросигналу будь-якого типу здійснюється з точністю, яка повинна задовольняти вимоги технологій нових сервісів або нормативних документів. Таким чином, вимоги до синхронізації визначаються додатками й сервісами, що надаються операторами зв'язку, але транспортна мережа повинна мати можливість задовольнити всі потреби й відповідати навіть дуже суворим нормам. У табл. 1 подано мережні елементи, які використовуються для різних застосувань і, відповідно, вимоги до синхронізації.

© Є.В. ЛЕБІДЬ, 2015

Таблиця 1. Норми синхронізації для сучасних мережевих технологій

Мережевий елемент	Норма до частотної синхронізації	Норма до фазової синхронізації
cdma2000 BS	$5 \cdot e^{-8}$	3 мкс
GSM	$5 \cdot e^{-8}$	-
UMTS-TDD BS	$5 \cdot e^{-8}$	1,25 мкс
UMTS-FDD BS	$5 \cdot e^{-8}$	-
WiMax BS	$5 \cdot e^{-8}$	1 мкс*
LTE BS	$5 \cdot e^{-8}$ **	1 мкс**
APON/GPON OLT	$1 \cdot e^{-11}$	-
SDH/SONET, ATM	$1 \cdot e^{-11}$	-

\* Для технології WiMax з часовим розподілом каналів (TDD) базових станцій – обов'язкова вимога, а з частотним розподілом (FDD) – опція.

\*\* Сервіси, що надаються в мережі LTE, вимагають жорстких норм з частотної й фазової синхронізації.

**Синхронізовані Ethernet мережі.** Технологія Ethernet розроблялася виключно з метою використання в локальних мережах. Методи лінійного кодування інформації на фізичному рівні обиралися відповідно до завдань, які не передбачали передавати синхросигнал. У мережах SDH спочатку використовувалися лінійні коди NRZ, які пристосовані для передачі синхронізації на фізичному рівні каналу зв'язку. При створенні технології Sync Ethernet фізичний рівень і методи кодування були запозичені з технології SDH, а другого рівня зміни практично не торкнулися. Структура кадрів залишилася незмінною, за винятком SSM-байта статусу синхронізації. Його значення також були запозичені з технології SDH.

З рис. 1 видно, що синхронізація здійснюється в Ethernet на кожному мережному сегменті між двома сусідніми вузлами, але вона не поширюється від сегмента до сегмента. Таким чином, вузол приймає тактовий сигнал, відновлює його, а потім пересилає усім передавальним вузлам (рис. 2).

Відновлений сигнал потребує очищення за допомогою системи фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), що дозволяє усунути джиттер з ланцюга відновлення тактового сигналу до того, як він надійде на передавальний пристрій. Крім того, необхідно вручну налаштувати порти в тракці передачі сигналу синхронізації (тільки для мережі 1000 Base-T).

Будь-який пристрій фізичного рівня мереж Gigabit Ethernet або 10 Gigabit Ethernet повинен підтримувати синхронізовану Ethernet мережу, забезпечуючи відновлений синхросигнал на одному зі своїх виходів. Відновлений синхросигнал очищується за допомогою системи ФАПЧ і передається на вхід 25-МГц кварцового генератора фізичного пристрою. Декілька нових фізичних пристроїв Ethernet мережі забезпечують спеціальний вивід для вхідного тактового сигналу. Перевагою цього методу є те, що частота вхідного сигналу може бути вище 25 МГц (чим вище частота синхронізації, тим менше джиттер). Крім того, цей метод

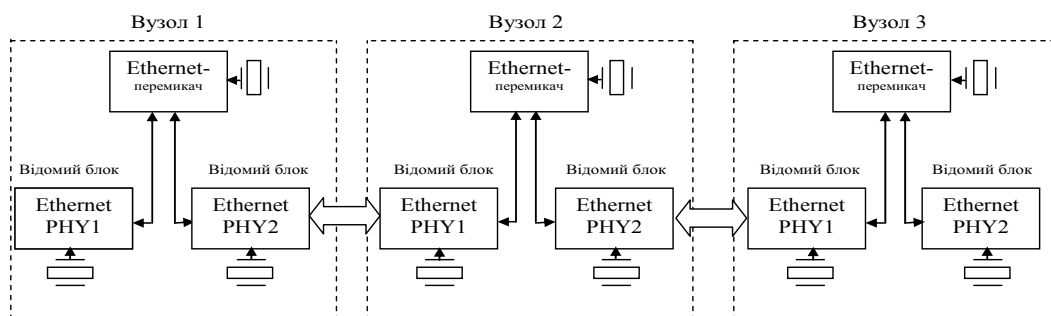


Рис. 1. Синхронізація на фізичному рівні в традиційній Ethernet-мережі

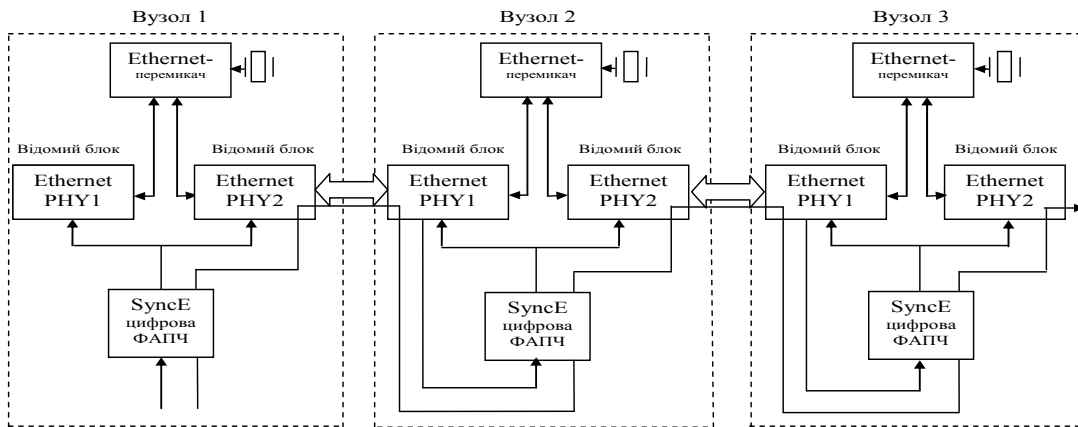


Рис. 2. Синхронізація на фізичному рівні в Ethernet

дозволяє уникнути будь-яких потенційних проблем, що пов'язані з циклом синхронізації фізичного пристрою.

**Вимоги до системи ФАПЧ, яка використовується в технології SyncE.** Із вищесказаного можна зробити висновок, що єдина функція системи ФАПЧ, яка використовується в технології SyncE, полягає в очищенні відновленого сигналу від джиттера. Але в SyncE схема ФАПЧ повинна забезпечувати й інші функції.

Наприклад, якщо приймальний пристрій фізичного рівня (рис. 3, вузол 2, PHY 1) від'єднаний від лінії, відновлена частота синхронізації припинить або почне дрейфувати, залежно від того, як реалізована схема відновлення синхронізації після збою. Схема ФАПЧ загального призначення не відстежить цієї великої зміни в частоті на передавальному фізичному пристрої (рис. 3, вузол 2, фізичний рівень 2), і в результаті не лише тактовий сигнал не буде передано, але не відбудеться й передача даних.

Схема ФАПЧ в технології SyncE повинна виявляти збій відновленого сигналу синхронізації і вмійти перемикатися або на корисний опорний сигнал системи, або перемикати генератор у режим утримання. Вимоги до SyncE коротко викладено в специфікації внутрішнього годинника синхронної Ethernet мережі (ITU G.8262/Y1362). Ці вимоги засновані на специфікації ITU-T G.813 для тактових сигналів стандарту SDH.

**Точність в автономному режимі:** точність вихідного сигналу схеми ФАПЧ, коли вона не керується опорним сигналом, має дорівнювати або бути вище  $\pm 4,6$  ppm впродовж одного року. Це

дуже висока точність відносно точності традиційної Ethernet мережі ( $\pm 100$  ppm).

**Режим утримання:** система ФАПЧ постійно розраховує середнє значення частоти синхронізованого опорного сигналу. У випадку, якщо опорний сигнал не надходить, а також відсутні інші опорні сигнали, ФАПЧ переходить у режим утримання й генерує вихідний синхросигнал на основі розрахункового середнього значення. Стійкість режиму залежить від дозволу усереднювального алгоритму й стабільності частоти генератора, що використовується як задавальний тактовий генератор ФАПЧ.

**Контроль за опорним сигналом:** система ФАПЧ повинна постійно контролювати якість вхідних опорних сигналів. Якщо сигнал погіршується (сигнал зникає або дрейфує частота), блок ФАПЧ подає сигнал тривоги (переривання) й перемикається на інший опорний сигнал.

**Перемикання опорного сигналу без паузи:** якщо ФАПЧ система не виявляє опорного сигналу, вона захоплює інший опорний сигнал. При цьому фаза сигналу не змінюється.

**Фільтрація джиттера й стабілізація дрейфу:** блок ФАПЧ можна розглядати як фільтр для джиттера й засіб стабілізації дрейфу.

**Стійкість до джиттера й дрейфу:** система ФАПЧ має бути стійкою до великого джиттера й дрейфу на вході та підтримувати синхронізацію, не генеруючи сигналу тривоги.

Ці жорсткі вимоги можна задовольнити тільки за допомогою цифрової системи ФАПЧ (DPLL), схожої з тією, яка використовується для синхронізації мережі SONET/SDH. Основна відмінність полягає в тому, що система SyncE DPLL повинна захоплювати й генерувати тактові частоти, що використовуються

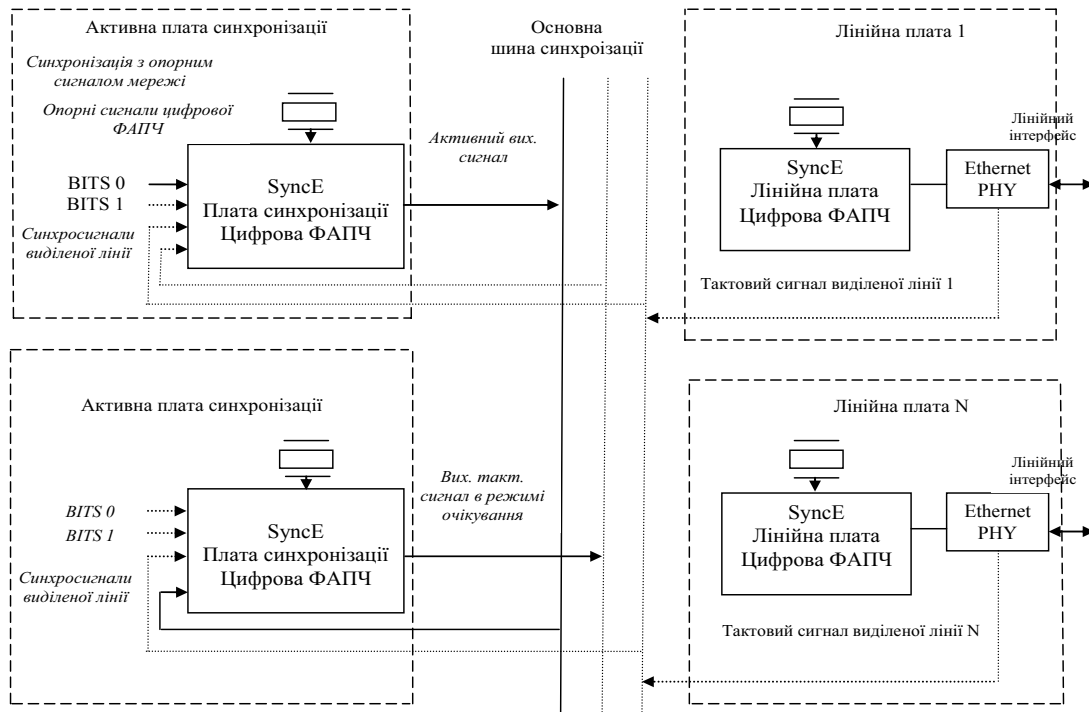


Рис. 3. Резервна синхронізація в SyncE системі операторського класу

в Ethernet (25, 125 і 156,25 МГц), тоді як в SONET/SDH задіяні інші значення тактових частот (19,44 і 155,52 МГц).

**Реалізація систем SyncE.** SyncE системи операторського класу повинні забезпечувати надійне функціонування. Синхронізація в системі операторського класу реалізується за допомогою двох плат, з яких тактові сигнали надходять на декілька лінійних плат через загальну плату (рис. 3). Усі лінійні плати синхронізуються з тактовим сигналом, що надходить з активної плати. Якщо вона не підключена, лінійні плати стануть синхронізуватися із сигналом, що надходить з резервної плати. Перемикання з однієї плати синхронізації на іншу не повинно викликати переривання або збою в системі.

Дві плати синхронізації забезпечують захист системи на випадок відмови однієї з них. З рис. 3 видно, що плати мають можливість синхронізації від більш ніж одного опорного сигналу. Плата приймає опорні сигнали з декількох джерел, вибирає один з них, очищує від фазового шуму за допомогою цифрової ФАПЧ і передає лінійним платам через загальну панель. Цифрова схема ФАПЧ є найбільш важливою складовою плати синхронізації. Опорні сигнали цифрової ФАПЧ надходять ззовні з блока SSU/BITS, зсередини з лінійних плат або від іншої плати синхронізації в системі. Цифрова

ФАПЧ плати синхронізації повинна відповідати всім вимогам рекомендації ITU-TG.8262/Y1362.

Кожну лінійну плату оснащено схемою цифрової ФАПЧ, яка дозволяє зменшити джиттер і перетворити частоту тактового сигналу в один або більше тактових сигналів для Ethernet PHY з частотою 125, 156,25, 155,52 МГц і так далі.

Цифрова ФАПЧ лінійної плати повинна також забезпечити перемикання без паузи між активним і резервним тактовим сигналом (коли активний синхросигнал несподівано зникає, а система ще не виявила збій і не перемкнула цифрову схему ФАПЧ лінійної плати на резервний опорний сигнал).

Для цифрової ФАПЧ лінійної плати потрібен кварцовий генератор. Вартість цього генератора невисока, оскільки для цифрової ФАПЧ лінійної плати не потрібний режим утримання (окрім коротких інтервалів часу перемикання з активного на резервний тактовий сигнал). У випадку, якщо цей режим займає тривалий час, система використовує цифрову ФАПЧ плати синхронізації і тому їй потрібні кварцові генератори вищої якості (ТСХО, ОСХО)

Малі SyncE системи, яким не потрібна резервна синхронізація, мають тільки одну цифрову схему ФАПЧ. Вона повинна задовольняти всі вимоги як цифрової системи ФАПЧ плати синхронізації, так

і цифрової ФАПЧ лінійної плати. У цієї ФАПЧ має бути вузька ширина смуги петлі, функція утримання високої якості (потрібно ТСХО або ОСХО), можливість перемикавання опорного сигналу без паузи й дуже малий власний джиттер. Залежно від того або іншого застосування може також знадобитися, щоб ця цифрова ФАПЧ генерувала частоти 8 кГц; 2,048; 1, 544; 34,368; 44,736 МГц і так далі.

### Висновки

До переваг технології Sync Ethernet можна віднести використання SDH структури фізичного рівня, досвід проектування і побудови мереж тактової мережної синхронізації. Ідентичність методів зберігла актуальність старих рекомендацій G.803, G.804, G.811, G.812 і G.813 у новій технології. Дорогі пристрої: первинні еталонні генератори, вторинні задавальні генератори (ВЗГ) – можуть бути задіяні також і в новій транспортній мережі, побудованій на стандарті Sync Ethernet.

До недоліків можна віднести те, що в усій мережі передачі кожен пристрій повинен підтримувати новий стандарт, й якщо в лінії залишається пристрій, який не підтримує Sync Ethernet, то всі пристрої, які стоять за цим вузлом, не можуть

працювати в синхронному режимі. Отже, потрібні великі матеріальні витрати на модернізацію усієї мережі.

Ці жорсткі вимоги можна задовольнити тільки за допомогою цифрової системи фазового автопідстроювання частоти, отже потрібно проводити аналіз цих схем, вдосконалювати математичні основи для моделювання та аналізу робочих характеристик таких систем.

Таким чином, розробка методів проектування повністю цифрових систем фазового автопідстроювання частоти для поліпшення їхніх технічних характеристик є актуальним завданням.

### Список літератури

1. *Miljevic S.* An introduction to Synchronized // [w.w.w.videsingonline.com](http://w.w.w.videsingonline.com).
2. *J-L Ferrant.* Synchronous Ethernet: A method to transport synchronization / Jean-Loop Ferrant, Alcatel-Lucent, Mike Gilson, British Telecom, Sebastien Jobert, France Telecom, Michael Mayer and Michel Ouellette, Nortel, Laurent Montini, Cisco, Silvana Rodrigues, Zarlink, Stefano Ruffini, Ericsson // IEEE Communication Magazine. – September 2008. – P. 126-134.

УДК 623.546

**МАКЕСЬ В. І.**, канд. техн. наук (Сумський державний університет, м. Суми),  
**ПУШКАРЬОВ Ю. І.**, канд. військ. наук (Сумський державний університет, м. Суми),  
**МАРТИНЕНКО С. А.**, канд. техн. наук (Львівська академія Сухопутних військ, м. Львів),  
**ПОНОМАРЕНКО С. О.**, канд. техн. наук (Державний науково-дослідний інститут авіації, м. Київ)

## ПРО ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СКЛАДАННЯ ТАБЛИЦЬ СТРІЛЬБИ

У статті показана можливість підвищення точності складання таблиць стрільби за рахунок більш детального врахування калібру артилерійських боєприпасів, типів цілей та дальності стрільби, що дозволяє уникнути значних похибок при підготовці установок для стрільби.

В статье показана возможность повышения точности составления таблиц стрельбы за счет более точного учёта калибра артиллерийских боеприпасов, типов целей и дальности стрельбы, что позволяет избежать существенных ошибок при подготовке установок для стрельбы.

The current method of tabulation shooting (TS) can be described as experimental and theoretical elements as trajectory calculations, amendments and other data TS exercise methods developed in exterior ballistics [1,2,7] but for calculations using experimental values of several parameters determined based on the relatively small number of firings. At the time of the TC engaged in a dedicated training ground, excluding power ammunition type goals, results averaged for all accepted range, which can lead to significant errors in the preparation of facilities for shooting. Ignorance is specific accuracy requirements can lead to insufficient assembly precision TC. In this regard, the purpose of the article is to develop standards for accuracy tabulations shooting.

Підвищення точності таблиць стрільби (ТС) є одним із центральних питань всіх робіт з їх складання. Точність ТС визначається, в основному, випадковими похибками, які, зазвичай, підпорядковані нормальному закону і оцінюються за допомогою серединних похибок  $E_{ТС}$ . Для кожної конкретної, окремо взятої стрільби похибки ТС виступають як систематичні (повторювані), причому деякі з них можуть бути присутніми постійно. Так, наприклад, якщо основна залежність ТС на дальності 10 км має похибку 20 м, то скільки б не проводилася стрільба на цю дальність, така ж похибка буде присутня в установках прицілу. Тому, коли як міру точності ТС використовують серединні похибки, завжди мають на увазі багаторазове використання ТС в різних умовах, для різної дальності і різних артилерійських систем, при використанні для стрільб багатьох партій снарядів і зарядів.

У статті висвітлюються такі два питання щодо точності ТС:

якою має бути конкретна точність ТС і як можна визначити вимоги до цього параметра;

з чого складаються похибки ТС і яким шляхом визначаються характеристики точності ТС.

Точність ТС за дальністю визначається точністю основної табличної залежності (залежність табличної дальності від табличного кута прицілювання) і від точності табличних поправочних даних. Точність визначення табличної дальності відповідно до прийнятої методики складання ТС залежить від: точності визначення дослідної дальності (дальність під час проведення випробувальних стрільб), точності нормалізації при визначенні дослідної дальності та точності розрахунку табличної дальності. Розглянемо точність ТС, при складанні яких використані балістичні збірники [2, 7, 10].

1. Похибки дослідної дальності визначаються серединним відхиленням  $B_{\theta}$ , що характеризує розсіюванням снарядів за дальністю, у порівнянні з яким похибки вимірювання координат розривів є малими (для методу засічок вони не перевищують 2 м). З урахуванням того, що в середньому  $B_{\theta} = 0,5\% X$  [11] і що дослідна дальність визначається на підставі групи  $n = 5 \dots 7$  пострілів,

серединна похибка визначення дослідної дальності за результатами одноразової стрільби  $E_{X_{оп}}$  визначається за формулою

$$E_{X_{оп}} = \frac{B\delta}{\sqrt{n}} \approx 0,2\%X. \quad (1)$$

Тобто для кожного кута кидання вона становить близько 0,2% дальності стрільби  $X$ .

2. Серединна похибка визначення нормалізованої дальності за результатами одного пострілу  $E_{X_{1норм}}$  визначається за співвідношенням

$$E_{X_{1норм}} = \sqrt{E_{X_{оп}}^2 + \sum E_{X_i}^2}, \quad (2)$$

де  $E_{X_i}^2$  – середнє значення окремих похибок дальності, обумовлених похибками визначення балістичних і метеорологічних умов дослідних стрільб та похибками методу обчислення поправок для приведення результатів дослідних стрільб до нормальних умов (передбачається, що всі похибки незалежні і розподілені за нормальним законом).

а) Серединна похибка вимірювання початкової швидкості снарядів  $v_0$  за результатами однієї групи пострілів ( $n = 5 \dots 7$ ) становить  $E_{v_0} = 0,15\% v_0$  [10]. Цій серединній похибці у визначенні початкової швидкості відповідає серединна похибка у визначенні дальності  $E_{X_{v_0}} = 0,15\% X$ ;

б) Серединна похибка в дальності  $E_{X_{\theta_0}}$  через похибки кута кидання  $\theta_0$  складається з серединної похибки в дальності через похибки визначення кута піднесення  $\varphi$  по квадранту  $E_{\varphi} = 2',3$  (з урахуванням похибки непаралельності контрольного майданчика до осі каналу ствола) і серединної похибки в дальності  $E_{\gamma} = 1',2$  через похибки визначення вертикальної складової кута вильоту  $\gamma$  [11]:

$$E_{X_{\theta_0}} = \sqrt{E_{\varphi}^2 + E_{\gamma}^2} = \sqrt{2,3^2 + 1,2^2} = 2',6.$$

Цій похибці кута кидання відповідають серединні похибки в дальності: при малих кутах кидання порядку  $5-10^\circ$  –  $E_{X_{\theta_0}} = (0,60 \dots 0,85)\% X$ , а при кутах кидання понад  $25^\circ$  –  $E_{X_{\theta_0}}$  менше  $0,1\% X$  [7].

в) Серединні похибки визначення метеорологічних умов стрільби, тобто серединні похибки визначення атмосферного тиску  $E_{h_0}$ , балістичного відхилення температури  $E_{\Delta T_6}$  і поздовжнього балістичного вітру  $E_{W_{X_6}}$  мають, відповідно, такі значення [11]:  $E_{h_0} = 0,5$  мм рт. ст.;  $E_{\Delta T_6} = 1,5^\circ\text{C}$ ;  $E_{W_{X_6}} = 0,65$  м/с.

Зазначеним серединним похибкам у визначенні метеорологічних елементів відповідають такі величини похибок дальності [11]:

$$E_{X_{h_0}} = (0,01 \dots 0,04)\% X;$$

$$E_{X_{\Delta T_6}} = (0,03 \dots 0,12)\% X;$$

$$E_{X_{W_{X_6}}} = (0,04 \dots 0,21)\% X.$$

г) Похибки методу обчислення поправок за допомогою таблиць поправочних коефіцієнтів в середньому складають 5% від величини поправки і викликані, головним чином, неточним урахуванням опору повітря для даного снаряда при обчисленні поправочних коефіцієнтів за дослідним значенням балістичного коефіцієнта як коефіцієнта узгодження дальності [7].

д) Сумарна серединна похибка нормалізованої дальності за результатами однієї стрільби для кутів кидання в межах від  $10$  до  $60^\circ$  у середньому становить  $E_{X_{1норм}} = 0,37\% X$ . При малих кутах кидання (близько 5%) ця похибка приблизно в півтора разу більша [10].

3. Оскільки дослідні стрільби повторюються, як правило, трикратно при одному куті кидання, то, з урахуванням  $E_{X_{1норм}} = 0,37\% X$  і  $N = 3$ , сумарна серединна похибка визначення опорної дальності становитиме

$$E_{X_{оп}} = \frac{E_{X_{1норм}}}{\sqrt{N}} \approx 0,2\% X. \quad (3)$$

4. При розрахунках табличної дальності виникають додаткові похибки, що виникають через неточності розрахунків за балістичним збірником (обумовлені похибками самого збірника і похибками інтерполяції), а також через похибки графічної побудови залежностей  $c = f_1(\theta_0)$  і  $X = f_2(\theta_0)$ . Похибки табличної дальності визначаються підсумовуванням похибки опорної дальності і похибки розрахунків табличної дальності за формулою

$$E_{X_{табл}} = \sqrt{E_{X_{оп}}^2 + E_{X_{расч}}^2}. \quad (4)$$

За існуючою методикою відстрілу ТС для кутів кидання у межах  $10 \dots 45^\circ$  в середньому становлять  $0,3 \dots 0,5\% X$  [2, 7, 10].

5. Серединні похибки табличних поправок за напрямком у середньому складають 5% від величини поправки [10].

Похибки за дальністю через похибки складання ТС при існуючому способі їх визначення наведені в табл. 1.

#### Вимоги до точності таблиць стрільби

Похибки ТС є складовими похибок повної підготовки. Якщо припустити, що точність повної підготовки стрільби зменшена на  $5 \dots 7\%$ , і якщо вважати, що серединна похибка повної підготовки за дальністю складає близько  $1\% X$ , то серединні похибки ТС  $E_{ТС}$  повинні бути не гірші  $0,3 \dots 0,5\% X$  [2,

Таблиця 1. Похибки за дальністю через похибки складання ТС при  $E_{Хмс} = 0,5\% X$

Системи	Дальність стрільби, км															
	5	7	9	10	13	15	17	20	22	24	26	28	30	34	36	37
122-мм ГД-30, 122-мм СГ 2С1	25	35	45	50	65	75										
152-мм СГ 2С3	25	35	45	50	65	75	85									
152-мм П 2А36, 152-мм СП 2С5	25	35	45	50	65	75	85	100	110	120	130	140				
152-мм Г2А65	25	35	45	50	65	75	85	100	110	120						
203-мм СП 2С7	25	35	45	50	65	75	85	100	110	120	130	140	150	170	180	185
240-мм СМ 2С4	25	35	45													
120-мм М 2С12	25															
БМ-21 „Град”	25	35	45	50	65	75	85	100								
РСЗВ „Ураган”	25	35	45	50	65	75	85	100	110	120	130	140	150	170	180	

7, 10]. Ці значення близькі до середніх вимог, але вони занадто усереднені і відірвані від конкретних ситуацій. Дійсно, вимоги з точності ТС повинні залежати від особливостей артилерійської системи з погляду як її технічних (купчастість, дальність, потужність боеприпасів тощо), так і тактичних характеристик (типові цілі, час, що відводиться на підготовку пострілу і т. д.). Незнання ж конкретних вимог до точності може призвести до складання недостатньо точних ТС або, навпаки, до забезпечення зайвої (яка не потрібна) точності артилерійської системи.

Найбільш природним критерієм для визначення вимог до точності ТС є математичне сподівання  $M[a]$  (ймовірність  $P$ ) ураження цілі [11].

**Обґрунтування вимог до точності складання таблиць стрільби**

Як оціночні критерії необхідної точності складання ТС прийємо відносну зміну показників ефективності стрільби  $\Delta M(\Delta P)$ . При цьому розрахунок оціночного критерію включає такі кроки (I спосіб):

розрахунок значення показника ефективності стрільби для випадку, коли похибки у визначенні ТС відсутні  $M_0[a](P_0)$ ;

визначення величини показника ефективності для прийнятого значення точності ТС  $M[a](P)$ ;

по знайденому значенню показника ефективності обчислюється його відносна зміна

$$\Delta M = \frac{M[a]}{M_0[a]} - 1; \quad \Delta P = \frac{P}{P_0} - 1. \quad (5)$$

Точність ТС вважається достатньою, якщо виконується умова  $\Delta M(\Delta P) \leq 0,5\%$  [5, 7].

З теорії стрільби відомо, що похибки у визначенні похибок ТС впливають на похибки підготовки даних для стрільби за дальністю і напрямком.

**а) Визначення ймовірності та математичного сподівання ураження цілі за допомогою таблиць  $F(\beta)$ .**

Ймовірність ураження цілі визначається за формулою [11]

$$P = 1 - 4 \sum_{z=0}^{5E_z} Q(z_j) \sum_{x=0}^{5E_x} Q(x_i) q(x_i z_j), \quad (6)$$

де  $Q(x_i) = F\left(\frac{x_i + 0,5\Delta x}{E_x}\right) - F\left(\frac{x_i - 0,5\Delta x}{E_x}\right);$

$$Q(z_j) = F\left(\frac{z_j + 0,5\Delta z}{E_z}\right) - F\left(\frac{z_j - 0,5\Delta z}{E_z}\right);$$

$$q(x_i z_j) = \{1 - [F\left(\frac{x_i + l}{B_a}\right) - F\left(\frac{x_i - l}{B_a}\right)] \cdot$$

$$\cdot [F\left(\frac{z_j + m}{B_a}\right) - F\left(\frac{z_j - m}{B_a}\right)]\}^N.$$

Математичне сподівання визначається за залежністю [11]:

$$M[a] = 100 \frac{S_n N \varepsilon(t)}{\Gamma_{ц} \Phi_{ц}} \Phi\left(\frac{0,5\Gamma_{ц}}{E_{xd}}\right) \Phi\left(\frac{0,5\Phi_{ц}}{E_{zd}}\right) \quad (7)$$

де  $S_n$  – приведена зона ураження;  $l, m$  – наведені розміри цілі за фронтом і глибиною;  $N$  – витрата снарядів на ціль (або на 1 га);  $\varepsilon(t)$  – таблицна функція [11];  $\Gamma_{ц}$  – глибина цілі;  $\Phi_{ц}$  – фронт цілі;

$$E_{xd} = \sqrt{E_x^2 + E_{x_i}^2}; \quad E_{zd} = \sqrt{E_z^2 + E_{z_i}^2}; \quad (8)$$

де  $E_x, E_z$  – похибки підготовки установок за дальністю і напрямком;

$E_{Xt} = B_o \sqrt{\lambda(t)}$ ,  $E_{Zt} = B_o \sqrt{\lambda(t)}$ ;  $B_o$ ,  $B_o$  – характеристики розсіювання снарядів по дальності і напрямку;  $\lambda(t)$  – таблична функція [11].

Похибки підготовки установок по дальності і напрямку можна подати у вигляді

$$E_X^2 = E_{Xn}^2 + E_{XTC}^2; E_Z^2 = E_{Zn}^2 + E_{ZTC}^2 \quad (9)$$

де  $E_{Xn}$ ,  $E_{Zn}$  – похибки підготовки установок для стрільби по дальності і напрямку без урахування похибок ТС;  $E_{XTC}$ ,  $E_{ZTC}$  – похибки ТС по дальності і напрямку.

**б) Визначення математичного сподівання (ймовірності) ураження цілі на основі ідеальної щільності обстрілу [11]**

$$M[a] = \frac{N \tau_2 S_n}{E_{Xr} E_{Z\phi}}; \quad (10)$$

де  $E_{Xr} = \sqrt{E_x^2 + 0,038 \Gamma^2}$ ;

$E_{Z\phi} = \sqrt{E_z^2 + 0,038 \Phi^2}$  – серединні похибки підготовки за дальністю і напрямком з урахуванням розмірів групової цілі. Сумарні середні похибки підготовки установок можна подати у вигляді

$$E_x^2 = E_{Xn}^2 + E_{XTC}^2; E_z^2 = E_{Zn}^2 + E_{ZTC}^2,$$

де  $E_{Xn}$ ,  $E_{Zn}$  – серединні похибки підготовки установок за дальністю і напрямком без урахування похибок ТС;

$E_{XTC}$ ,  $E_{ZTC}$  – серединні похибки ТС за дальністю і напрямком;  $\tau_2$  – таблична функція [11].

Позначимо через  $M_0[a]$  математичне сподівання ураження цілі при відсутності похибок ТС, тобто  $E_{XTC} = 0$ ,  $E_{ZTC} = 0$ ; а через  $M[a]$  – математичне сподівання ураження цілі при наявності похибок ТС (похибки ТС варіюються від 0 до 0,5% X дальності стрільби) тоді

$$M[a] = M_0[a] + \Delta M_{TC}. \quad (11)$$

Коли похибки ТС рівняються 0,  $M_0[a]$  визначається з виразу

$$M_0[a] = \frac{N_0 \tau S_n}{E_{Xr} E_{Z\phi}}, \quad (12)$$

тоді

$$\frac{M[a]}{M_0[a]} = 1 + \frac{\Delta M_{TC}}{M_0[a]} \sqrt{\left[1 + \left(\frac{E_{Xr}}{E_{XTC}}\right)^2\right] \left[1 + \left(\frac{E_{Z\phi}}{E_{ZTC}}\right)^2\right]} \quad (13)$$

або

$$\frac{\Delta M_{TC}}{M_0[a]} = 0,5 \left[ \left(\frac{E_{Xr}}{E_{XTC}}\right)^2 + \left(\frac{E_{Z\phi}}{E_{ZTC}}\right)^2 \right]. \quad (14)$$

Звідси

$$E_{XTC} = E_{Xr} \sqrt{2 \frac{M_0[a]}{\Delta M_{TC}}}; E_{ZTC} = E_{Zr} \sqrt{2 \frac{M_0[a]}{\Delta M_{TC}}}. \quad (15)$$

Ймовірність ураження цілі  $P(P_0)$  розраховується за формулами (10), (12), тільки замість  $M[a]$  ( $M_0[a]$ ) ставиться, відповідно, ймовірність  $P(P_0)$ .

Дане завдання вирішується в такій послідовності:

1) визначається перелік типів цілей (згідно з Правилами стрільби і управління вогнем) [11]. По кожній цілі задається ступінь ураження цілі ( $M[a], P$ ), розміри цілі, дальність стрільби;

2) визначається приведена зона ураження даної цілі  $S_n$ ;

3) для кожної цілі і дальності розраховуються середні похибки підготовки установок  $E_x, E_z$  – з урахуванням похибок ТС і  $E_{Xn}, E_{Zn}$  – серединна похибка підготовки установок без врахування похибок ТС;

4) розраховуються показники ефективності  $M[a]$  – коли точність ТС задана (варіюється від 0,1% до 0,5% X) і  $M_0[a]$  – коли  $E_{XTC} = 0$ ,  $E_{ZTC} = 0$ .

Результати розрахунків похибок ТС за вказаною методикою за умови, що зниження рівня показника ефективності буде не нижче  $\Delta M[a] / \Delta P \leq 0,5\%$ , наведені в табл. 2.

**II спосіб.** Нехай значення критерію оцінки точності способу складання ТС буде достатнім, якщо відносно збільшення витрати снарядів становить  $\Delta N \leq 4\%$  (відомо, що зміна показника ефективності на 1% відповідає зміні витрати снарядів на 7%) [11]. Витрата снарядів визначається за формулою [11]

$$N = K_2 \frac{E_{Xr} E_{Z\phi}}{\tau_2 S_n}, \quad (16)$$

де  $N$  – витрата снарядів, що забезпечує ураження цілі з необхідним значенням показника ефективності стрільби;  $K_2$  – коефіцієнт, що залежить від рівня показника ефективності стрільби [11];  $E_{Xr}, E_{Z\phi}$  – зведені серединні похибки способу визначення установок для стрільби на ураження з урахуванням розмірів групової цілі;  $\tau_2$  – коефіцієнт, що враховує вплив розсіювання снарядів;  $S_n$  – приведена зона ураження окремої цілі.

Величини  $E_{Xr}, E_{Z\phi}$  визначаються за формулами

$$E_{Xr} = \sqrt{E_x^2 + 0,038 \Gamma^2}; E_{Z\phi} = \sqrt{E_z^2 + 0,038 \Phi^2}, \quad (17)$$

де  $E_x, E_z$  – зведені серединні похибки способу визначення установок для стрільби на ураження;

Таблиця 2. Серединні похибки таблиць стрільби для різних артилерійських систем і дальності стрільби

Артилерійська система	$E_{xTC}, \%$																
	Дальність стрільби $X$ , км																
	5	7	9	10	13	15	17	20	22	24	26	28	30	34	36	37	40
122-мм Г Д-30	0,47	0,43	0,39	0,37	0,36	0,35											
122-мм СГ 2С1	0,48	0,44	0,40	0,38	0,37	0,35											
152-мм СГ 2С3	0,46	0,43	0,38	0,36	0,35	0,34	0,33										
152-мм П 2А36	0,49	0,47	0,45	0,41	0,39	0,35	0,32	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25					
152-мм Г 2А65	0,48	0,46	0,44	0,40	0,38	0,36	0,34	0,31	0,28	0,27	0,25	0,24					
152-мм СГ 2С19	0,46	0,44	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,29	0,25	0,23							
203-мм СП 2С7	0,41	0,38	0,37	0,35	0,33	0,31	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,20	0,19	
240-мм СМ 2С4	0,39	0,34															
БМ 21 „Град”	0,42	0,39	0,37	0,35	0,33	0,32	0,31	0,30									
РСЗВ „Ураган”	0,49	0,43	0,41	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29		
120-мм М 2С12	0,41	0,35															

$\Gamma, \Phi$  – розміри групової цілі за глибиною і фронтом відповідно.

Нехай  $E_x, E_z$  визначаються за формулами

$$E_x^2 = E_{x_n}^2 + E_{x_{TC}}^2; \quad E_z^2 = E_{z_n}^2 + E_{z_{TC}}^2, \quad (18)$$

де  $E_{x_n}, E_{z_n}$  – серединні відхилення, що обумовлені похибками підготовки стрільби, без врахування похибок ТС;  $E_{x_{TC}}, E_{z_{TC}}$  – серединні відхилення, обумовлені похибками складання таблиць стрільби;

$$E_{x_n}^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{dx}{d\lambda_i} E_{\lambda_i} \right)^2; \quad E_{z_n}^2 = \sum_{j=1}^n \left( \frac{dz}{d\lambda_j} E_{\lambda_j} \right)^2, \quad (19)$$

де  $\lambda_i, \lambda_j$  – похибки підготовки за дальністю і напрямком відповідно, не пов’язані з похибками складання ТС. Перепишемо формулу (16) у вигляді

$$N = \frac{K_2}{\tau_2 S n} \sqrt{(E_{x_r}^2 + E_{x_{TC}}^2)(E_{z_\phi}^2 + E_{z_{TC}}^2)}. \quad (20)$$

Нехай  $N_0$  – витрата снарядів при відсутності похибок ТС ( $E_{x_{TC}}^2 = E_{z_{TC}}^2 = 0$ ), а  $N$  – витрата снарядів при наявності похибок ТС,  $N = N_0 + \Delta N_{TC}$ . Тоді

$$N = \frac{K_2}{\tau_2 S n} E_{x_r} E_{z_\phi};$$

$$\frac{N}{N_0} = 1 + \frac{\Delta N_{TC}}{N_0} = \sqrt{\left[ 1 + \left( \frac{E_{x_{TC}}}{E_{x_r}} \right)^2 \right] \left[ 1 + \left( \frac{E_{z_{TC}}}{E_{z_\phi}} \right)^2 \right]}.$$

Можна показати, що другі складові в кожній квадратній дужці менше 0,15. Тому можна знехтувати їх множенням (воно приблизно дорівнює 0,02). Після цього остання формула набуває такого вигляду:

$$\begin{aligned} 1 + \frac{\Delta N_{TC}}{N_0} &= \sqrt{1 + \left( \frac{E_{x_{TC}}}{E_{x_r}} \right)^2} + \left( \frac{E_{z_{TC}}}{E_{z_\phi}} \right)^2} \approx \\ &\approx 1 + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{E_{x_{TC}}}{E_{x_r}} \right)^2 + \left( \frac{E_{z_{TC}}}{E_{z_\phi}} \right)^2 \right], \end{aligned}$$

звідси

$$\frac{\Delta N_{TC}}{N_0} = 0,5 \left[ \left( \frac{E_{x_{TC}}}{E_{x_r}} \right)^2 + \left( \frac{E_{z_{TC}}}{E_{z_\phi}} \right)^2 \right]. \quad (21)$$

Таким чином, формула (21) зв’язує відносну зміну витрати снарядів з відносними похибками ТС. Із цієї формули випливає таке правило: сума квадратів відношень похибок ТС до наведених похибок повної підготовки дорівнює подвоєному відношенню збільшення витрати снарядів за рахунок похибок ТС.

Розрахунки, що проведені другим способом для прийнятого критерію ( $\Delta N \leq 4\% X$ ), показали, що на дальності стрільби 5...15 км точність ТС становить  $E_{x_{TC}} = 0,45...0,35\% X$ , на дальності 16...37 км –  $E_{x_{TC}} = 0,36...0,21\% X$ . Ці результати добре узгоджуються з результатами розрахунків точності похибок ТС за першим способом.

Для визначення характеристик точності таблиць стрільби від дальності стрільби можна скористатись таким алгоритмом розрахунків:

1) складається перелік типових цілей, призначених для ураження даною артилерійською гарматою, визначаються їх розміри ( $\Phi$  і  $\Gamma$ ) і віддалення від вогневої позиції із зазначенням ймовірностей їх появи на різній дальності;

2) для кожної цілі при фіксованій дальності стрільби розраховуються наведені помилки підготовки за формулами (19);

3) визначається приведена зона ураження даної цілі  $S_n$  [11];

4) оскільки рівняння (21) містить два невідомі  $E_{x_{TC}}$  і  $E_{z_{TC}}$ , то необхідно задатися будь-яким співвідношенням між ними, або значенням одного

з них. Так як найбільш важко забезпечити необхідне значення  $Ex_{TC}$ , то часто припускається рівність нулю другої складової всередині квадратних дужок у рівнянні (21).

За таких припущень завдання може бути вирішене однозначно:

$$Ex_{TC} = Ex_{\Gamma} \sqrt{2 \frac{\Delta N_{TC}}{N_0}} \quad (22)$$

або

$$\frac{Ex_{TC}}{X} = \frac{Ex_{\Gamma}}{X} \sqrt{2 \frac{\Delta N_{TC}}{N_0}} \quad (23)$$

Значення  $\frac{\Delta N_{TC}}{N_0}$  задається в межах 0,03...0,07, що відповідає зміні показника ефективності стрільби не більше ніж на 1% [5]. При середньому значенні відношення  $\frac{\Delta N_{TC}}{N_0} = 0,05$  будемо мати

$$\frac{Ex_{TC}}{X} = 0,32 \frac{Ex_{\Gamma}}{X} \approx \frac{Ex_{\Gamma}}{3X}; \quad (24)$$

5) для вибраної дальності підраховується середньозважена похибка  $\frac{Ex_{TC}}{X}$  по всіх цілях, поява яких можлива на даній дальності (як коефіцієнти можуть бути прийняті ймовірності їх появи):

$$\left(\frac{Ex_{TC}}{X}\right)_{cp} = \frac{1}{\sum_{k=1}^U P_k} \sum_{k=1}^U P_k \left(\frac{Ex_{TC}}{X}\right)_k, \quad (25)$$

де  $U$  – загальне число цілей;  $P_k$  – ймовірність появи  $k$ -ї цілі на розглянутій дальності;  $\frac{Ex_{TC}}{X}$  – допустима відносна похибка ТС для  $k$ -ї цілі;

б) розрахунки за пп. 2...4 повторюються для іншої дальності стрільби.

Отримані результати зводяться в таблицю (або наносяться на графіки), які за змістом та видом відповідають табл. 2.

Проведені розрахунки дозволяють зробити такі висновки:

1. Допустимі похибки ТС залежать від дальності: з її збільшенням необхідна відносна точність зростає в 1,5...2 рази (табл. 3 і рис. 1).

2. Припустимі похибки ТС залежать від типу снарядів. Якщо для 122-мм гаубиці і 152-мм гармати-гаубиці вони приблизно однакові, то вимоги з точності ТС для 130-мм гармати істотно вищі. Це пояснюється впливом багатьох факторів, врахування яких без проведення описаних вище розрахунків практично неможливо.

3. При складанні ТС, особливо при плануванні табличних стрільб, необхідно передбачати заходи, що спрямовані на досягнення необхідної конкретної точності для даної артилерійської системи.

Похибки ТС виникають і накопичуються на всіх етапах складання таблиць. Похибки ТС поділяються на дві категорії: похибки основних і поправочних залежностей. Схематична класифікація похибок ТС показана на рис. 2.

Похибки основної табличної залежності є визначальними. На рис. 2 показано, що вони структурно складаються з двох груп: похибок визначення опорної дальності (тобто усередненої дослідної дальності) і похибок розрахунків основної залежності.

Таблиця 3. Серединні похибки таблиць стрільби в залежності від дальності стрільби

Артилерійська система	$Ex_{TC} \% X$						
	Дальність стрільби $X$ , км						
	6	8	10	12	16	20	26
122-мм гаубиця	0,45	0,38	0,35	0,33	-	-	-
130-мм гармата	0,35	0,30	0,27	0,25	0,23	0,22	0,21
152-мм гармата-гаубиця	0,43	0,37	0,34	0,31	0,29	-	-

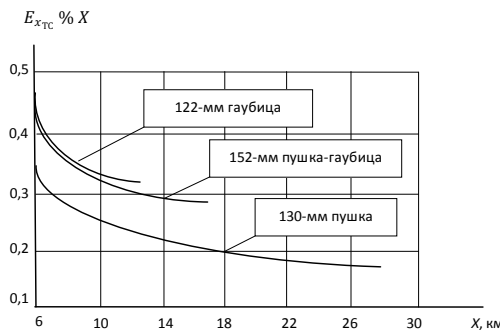


Рис. 1. Характеристики точності складання таблиць стрільби

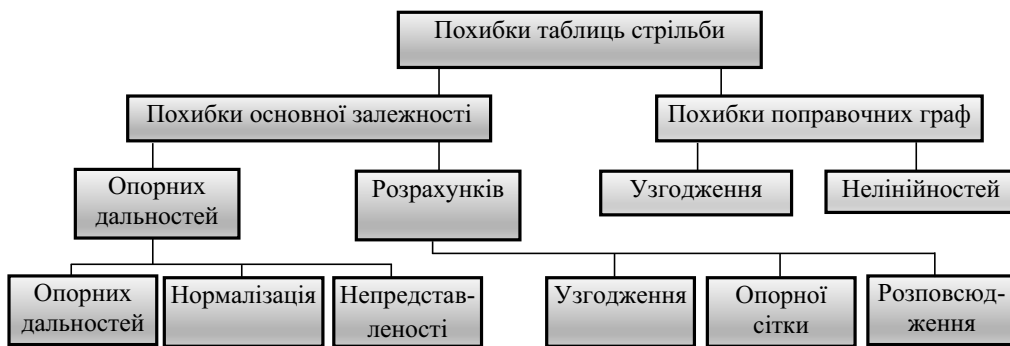


Рис. 2. Похибки складання таблиць стрільби

**Похибка кожної опорної дальності** складається з похибок осереднених дослідних дальностей кожної групи пострілів  $E_{ГР}$  і похибок їх нормалізації (мають систематичний характер)  $E_{xc}$ . Сумарна похибка опорної дальності за рахунок похибок цих двох груп має вигляд

$$E_{Оп} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{E_{ГР}^2 + E_{xc}^2}, \quad (26)$$

де  $N$  – число груп.

Ця формула вірна для будь-якої координати. Так, для абсциси  $x$  формула (26) має такий вигляд:

$$E_{x_{Оп}} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{E_{x_{ГР}}^2 + E_{xc}^2}. \quad (27)$$

Похибка  $E_{ГР}$  включає дві складові: похибку технічного розсіювання і похибку за рахунок неточного знання координат точок падіння (розривів)  $E_{изм}$ . Однак система вимірювання цих координат така, що  $E_{изм} \ll B_{\delta} \approx B_{\sigma} \approx B_{\epsilon}$  [10]. Тому можна вважати

$$E_{ГР} \approx \frac{B_{\delta}}{\sqrt{n}} \approx \frac{B_{\sigma}}{\sqrt{n}} \approx \frac{B_{\epsilon}}{\sqrt{n}}. \quad (28)$$

Цю рівність можна виразити так:

$$E_{x_{Оп}} = \sqrt{\frac{B_{\delta}^2}{nN} + \frac{E_{xc}^2}{N}}. \quad (29)$$

Аналогічні залежності неважко скласти для похибок і за двома іншими координатами, а також для похибок дистанційних відстрілів.

Існує і третя складова похибки визначення опорної дальності – похибка невідповідності дослідного матеріалу  $E_{НП}$ , що викликана тим, що як гармата (пускова установка, міномет), так і боеприпаси (снаряди, набої, підричники тощо), які використані при табличних відстрілах, не відображають особливості всіх зразків артилерійських систем і боеприпасів, що знаходяться у військах.

Наприклад, може виявитися, що окремі партії снарядів, навіть виготовлені одним і тим же

заводом, розрізняються станом поверхні або якістю ведучих поясків, внаслідок чого у них будуть різні дальності стрільби. ТС повинні відповідати всій подібній продукції в середньому. Завдяки такому усередненню і виникає похибка невідповідності дослідного матеріалу. Її величина і функціональні зв'язки мало відомі. Тим не менш, почасти через побоювання, що вона може виявитися значною, повні ТС завжди складаються двічі: спочатку при прийнятті зразка на озброєння – тимчасові ТС, потім, через декілька років, коли є впевненість у доброму налагодженні всього процесу виробництва і, отже, у стабільності характеристик продукції – постійні ТС. Крім того, з метою максимального усереднення цих характеристик рекомендується при складанні постійних ТС залучати результати відстрілів інших партій снарядів, набоїв і т. п.

З урахуванням викладеного повна формула для похибки опорної дальності може бути записана в більш загальному вигляді:

$$E_{Оп} = \sqrt{\frac{E_{ГР}^2 + E_{xc}^2}{N} + E_{НП}^2}. \quad (30)$$

У цій формулі визначальну роль відіграють похибки нормалізації  $E_{xc}$ , що повторюються для кожної групи пострілів. Їх дослідне визначення здійснюється зазвичай при  $N = 3 \dots 5$ . У формулу для знаходження  $E_{xc}$  входять часткові похідні дальності (або інших координати), що самі істотно залежать від дальності, а тому й похибки  $E_{xc}$  є значущими функціями дальності.

Максимальні відносні величини  $E_{xc}$ , зазвичай, відповідають найменшій дальності стрільби, де вони досягають значення 0,8...1% X; у міру збільшення дальності ці похибки зменшуються до 0,3...0,4% X – на середній і великій дальності. У

районі максимальної дальності  $E_{x_c}$  знову зростають до  $0,4...0,6\% X$  [7, 10].

Зниження цих головних складових похибок ТС можливе тільки за рахунок підвищення точності вимірювання початкових швидкостей, кутів вильоту, метеорологічних параметрів безпосередньо під час стрільби, а питому вагу  $E_c$  у сумарному значенні можна зменшити за допомогою збільшення числа  $N$  повторних стрільб у різні дні.

Похибки в напрямку  $Ez_c$  змінюються залежно від дальності мало і мають, зазвичай, величину, що близька до  $0,2...0,3\% X$  [10].

Похибка усередненої дослідної дальності  $Ez_c$  залежить виключно від характеристик купчастості і числа пострілів у групах і за дальністю коливається приблизно від  $0,1$  до  $0,3\% X$ , а за напрямком має мале значення, яким нехтують [10].

З урахуванням того, що непередставницька похибка  $E_{\text{нп}}$  для постійних ТС має вельми малі значення, можна зробити висновок, що серединні похибки  $E_{\text{оп}}$  опорної дальності (за дальністю) з урахуванням триразового повторення стрільб мають для малої дальності стрільби значення  $0,45...0,6\% X$ , проміжних –  $0,2...0,3\% X$  і для максимальних –  $0,3...0,4\% X$  [10]. Ці значення повинні розглядатися як орієнтовні, оскільки вони можуть сильно відрізнятися для різних артилерійських систем, при різних програмах відстрілу і характеристиках вимірювальної апаратури, що використовується при відстрілах ТС.

**Похибки розрахунків** основної залежності ТС складаються, в основному, з похибок узгодження, розрахунку опорної сітки та поширення її елементів на всі табличні дальності.

Узгодження, зазвичай, проводиться аналітичним (а не графічним) методом, тобто підбирається поліном  $i(V_0, \Theta_0)$  достатньою високого степеня, що виражає залежність коефіцієнта форми від початкової швидкості і кута кидання, який у певному сенсі (найменших квадратів відхилень) є найкращим. Цей поліном не повністю збігається з дійсною (об'єктивно існуючою) залежністю  $i_d(V_0, \Theta_0)$  відхилень  $i$  від  $i_d$ , тому похибки апроксимації є джерелом похибок основної залежності.

Джерелами похибок узгодження і апроксимація є: система диференціальних рівнянь (СДР), що використовується під час узгодження, не може бути цілком точною, тому коефіцієнти узгодження форми, що знайдені для кожної опорної дальності, містять похибки. Ці похибки виникають як через

неповноту СДР та похибки різних функцій і параметрів, що використовуються при обчисленнях (наприклад, аеродинамічні функції, в першу чергу – лобового опору  $C_{x_c}(M)$ ), так і через відсутність відомостей про значення деяких величин, що входять в СДР (початкові кути нутації і швидкості, їх варіації при кожному пострілі та ін.);

сама апроксимуюча функція (поліном), що вносить свої похибки в  $i$ .

Отримані згладжені значення коефіцієнта форми використовуються для розрахунку (шляхом інтегрування СДУ) кількох опорних табличних дальностей, що створюють шкалу або сітку, яка згодом поширюється на всі табличні дальності. Ці розрахунки також є джерелом похибок, які призводять до появи нових похибок по дальності, а, отже, і похибок ТС.

Для розрахунків основної табличної залежності (дальність – кут прицілювання) згадану вище шкалу або сітку дальності послідовно апроксимують декількома поліномами; за аргумент вибирається дальність. Зазначена апроксимація вносить додаткові похибки в основну табличну залежність.

Загальна похибка основної табличної залежності може бути визначена за формулою

$$E_{\text{о.з.}} = \sqrt{E_{\text{оп}}^2 + E_p^2}, \quad (31)$$

де  $E_p$  – похибка розрахунків, зазвичай лежить у межах  $0,2 \dots 0,3\% X$  [7, 10].

Загальна похибка основної залежності  $E_{\text{оз}}$  описується тими ж закономірностями, що і  $E_{\text{оп}}$  а її значення по дальності з урахуванням  $E_p$  може знаходитись у таких межах: для малої дальності –  $0,55 \dots 0,65\% X$ , середньої –  $0,3 \dots 0,4\% X$ , максимальної –  $0,35 \dots 0,45\% X$  [7, 10].

**Похибки поправочних граф ТС.** Так як поправки є малими величинами, то більшість з розглянутих вище похибок до поправок не мають помітної ваги. Виняток становлять похибки, що виникають внаслідок значних неточностей функції лобового опору  $C_{x_c}(M)$  (наприклад, еталонної), а також похибки табличних поправок, що викликані їх лінеаризацією.

**Похибки через неточності визначення функції  $C_{x_c}(M)$ ,** пояснюються тим, що коефіцієнт узгодження підбирається тільки для одного (узгоджуваного) параметра траєкторії, а всі інші параметри залишаються неузгодженими. Хоча розрахункове і дослідне значення узгодженого параметра практично збігаються, сама розрахункова

траєкторія відрізняється від дійсної. При цьому вплив різних факторів збурення, що діють уздовж реальної траєкторії, оцінюється в розрахунках з деякими похибками. Тому і відповідні поправки визначаються з похибками. Оцінити ці поправки можна, дуже наближено, по нестабільності (розмаху) коефіцієнта форми для даного снаряда: вважають, що на кожні 5% розмаху похибка поправки становить  $E_n = 0,1\% X$  [10].

**Похибки із-за нелінійності поправок  $E_{нл}$**  можуть мати місце, коли в таблицях стрільби використовуються тільки лінійні поправки. Розрізняють два типи цих похибок: похибки із-за несиметричності та взаємопов'язаності.

Несиметричність – нелінійність впливу одного фактора, яка проявляється у різному впливі його відхилень в напрямках „+” і „-”. Взаємопов'язаність – залежність впливу одного фактора збурення від величини іншого. Обидва різновиди похибок мають один порядок. У якості допустимих на практиці можна приймати  $E_{нл} 0,1 \dots 0,2\% X$  [10], але при великих відхиленнях метеорологічних і балістичних чинників (особливо взимку) ці похибки можуть бути значними [8, 9].

В цілому, похибки поправочних граф не можуть істотно вплинути на сумарні помилки ТС, та все ж обидві розглянуті категорії цих похибок поправок не можна залишати без уваги, бо вони можуть раптово проявитися під час стрільби в екстремальних умовах. Їх слід спеціально перевіряти в особливих умовах – в холодному і жаркому кліматі, в гірській місцевості і т.п. Для цього необхідно знайти нелінійні поправочні коефіцієнти, а потім обчислити нелінійні частини поправок для екстремальних умов і визначити частку в загальній похибці ТС. При цих розрахунках можна вважати, що похибки ТС  $E_{ТС}$  практично повністю визначаються похибками основної залежності  $E_{оз}$ .

Якщо прийняти як припущення, що спосіб буде доцільний у тому випадку, коли відносне збільшення показника ефективності  $\Delta M[a] \Delta P \geq 10\%$  [15], тоді розрахунок відносного значення показників ефективності по залежностях (5) показує, що для забезпечення необхідної точності ТС (табл. 2) необхідно:

1. Визначити метеорологічні чинники за допомогою метеорологічного бюлетеня „метеосередній” (бюлетень складений метеокомплексом МРК-1, який знаходиться на озброєнні військових частин) з давністю 1 година, при цьому точність

визначення метеорологічних і балістичних чинників повинна становити [8, 9, 10, 11]: температури повітря –  $E_{\delta T} = 1,2^\circ C$ ; вітру –  $E_{\delta W_x} = E_{\delta W_z} = 1,5$  м/с; тиску атмосфери –  $E_{\delta \Delta H} = 1,0$  мм.рт.ст.; сумарного відхилення початкової швидкості снарядів, що визначена з допомоги балістичної станції –  $E_{\delta V_{сум}} = 0,15 V_0$ ; температури зарядів –  $E_{\delta T_z} = 1,0^\circ C$ .

**Проведені дослідження дозволяють зробити такі висновки:**

1. Існуючі методики відстрілу і складання ТС дозволяють отримати занадто усереднені параметри точності ТС із-за відірваності від конкретних умов стрільби і потребують уточнення за рахунок більш детального врахування як особливостей артилерійської системи (кучність, дальність, могутність боеприпасів), так і тактичних характеристик стрільби (типові цілі, час, що відводиться на підготовку пострілу і т.п.).

2. Під час стрільби на дальності до 10 км існуюча методика відстрілу ТС (середня похибка  $E_{x_{ТС}} = 0,3 \dots 0,5 \% X$ ) забезпечує ураження цілей із заданими рівнями показників ефективності [11].

3. Запропонована методика оцінки точності ТС заснована на оцінці ефективності ураження типових цілей. Щоб забезпечити заданий рівень показників ефективності при стрільбі з артилерійських систем на дальності більшій за 10 км, необхідно підвищувати точність складання ТС: для дальності 10 ... 20 км середня похибка ТС повинна бути в межах 0,39 ... 0,28% X; для дальності 20 ... 37 км – 0,28 ... 0,19% X.

4. Основними похибками при складанні ТС є похибки визначення опорної дальності і її нормалізації, тому підвищення точності визначення метеорологічних і балістичних коефіцієнтів при відстрілі і складанні ТС залишається актуальною проблемою.

### Список літератури

1. *Дмитриевский А. А.*, Лисенко Л. Н. Внешняя баллистика. – М.: Машиностроение, 2005. – 607 с.
2. *Гантмахер Ф. Р.* Теория полета неуправляемых ракет. – М.: Изд-во математической литературы, 1959. – 355 с.
3. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964. – 572 с.
4. *Орлов Б. В.* Внешняя и внутренняя баллистика активно-реактивных снарядов. – М: Изд-во ЦНИИ, 1978. – 134 с.

5. *Червонный А. А.* Вероятностные методы оценки эффективности вооружения. – М.: Воениздат, 1979. – 93 с.
6. *Монченко Н. М.* Инженерный расчетный метод определения аэродинамических характеристик снарядов ствольной артиллерии. – М.: в/ч 42261, 1988. – 34 с.
7. *Лысенко Л. Н., Грабил В. В.* Баллистика ствольных систем. Справочная библиотека разработчика-исследователя. – М.: Машиностроение, 2006. – 461 с.
8. *Макеєв В. І.* Математична модель просторового руху літального апарату на твердому паливі в атмосфері // Вісник Сумського Державного університету, №2, 2008, – С.7–17.
9. *Макеєв В. І.* Балістична підготовка стрільби, методи і засоби удосконалення. Видавництво Сумського Державного університету, 2008, – С. 21–24.
10. *Кособрюхов Н. Н.* Исследование движения неуправляемых реактивных снарядов (активно-реактивных мин) и методы отстрела и составления таблиц стрельбы. Дисс. канд. тех. наук. – Л.: 1976. – 188 с.
11. *Теоретические основы управления огнем наземной артиллерии.* – Л.: Изд-во Военной артиллерийской академии, 1978. – 454 с.

УДК 623.4.004.67

**М. А. ШИШАНОВ**, д-р техн. наук, **Б. А. МЕЛЬНИК**, канд. техн. наук, **Л. И. КОБЯКОВ**, ст. науч. сотр.  
(Центр. науч.-ислед. ин-т вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины, г. Киев)

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВОССТАНАВЛИВАЕМОСТИ И РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ МАШИН ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Рассмотрены некоторые задачи решения проблемы улучшения восстанавливаемости и ремонтпригодности военной техники путем совершенствования организационных и конструктивных решений при создании образца.

Розглянуто деякі задачі рішення проблеми поліпшення відновлюваності та ремонтпридатності військової техніки шляхом удосконалення організаційних та конструктивних рішень при створенні зразків.

Работам над проблемой улучшения восстанавливаемости и ремонтпригодности военной техники (ВТ) постоянно уделяется должное внимание в армиях ведущих государств мира. Под восстанавливаемостью ВТ понимают ее свойство, заключающееся в приспособленности к восстановлению работоспособности или исправного состояния после боевых повреждений путем проведения ремонтов в заданных условиях боевого применения при возможных ограничениях [1]. Под ремонтпригодностью ВТ понимают приспособленность ее конструкции к проведению технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р) в войсках [2].

Обеспечение высокого уровня восстанавливаемости и ремонтпригодности способствует достижению ВТ максимальной боевой эффективности.

Проблема может быть сформулирована следующим образом: обеспечить максимальную приспособленность ВТ к ТО и Р на заданном уровне и минимизировать требования к квалификации обслуживающего персонала и оборудованию для ремонта и обслуживания.

Требования максимальной приспособленности ВТ к ремонту выдвигается не вообще, а в конкретных условиях, то есть при ремонте в полевых условиях с помощью подвижных мастерских и на подвижных ремонтных заводах (предприятиях) (сервисных центрах ГК «Укроборонпром»).

При решении этой проблемы предусматриваются следующие основные этапы:

- выработка требований по восстанавливаемости и ремонтпригодности, включение их в техническое задание (тактико-техническое задание);
- обеспечение выполнения требований в процессе проектирования и разработки образца;
- проверка выполнения требований на опытных образцах (при испытаниях).

Особенностью начального этапа является стремление активно воздействовать на конструкцию образца с позиции восстанавливаемости и ремонтпригодности на ранних этапах его создания. В ходе дальнейшей работы над решением проблемы специалисты пришли к выводу, что для более четкой реализации требований необходимо описание задач, решаемых рассматриваемыми требованиями, и их количественная оценка [3, 4].

По мнению специалистов, основу восстанавливаемости и ремонтпригодности ВТ составляют:

- возможность доступа к сборочным единицам, деталям и другим комплектующим для контроля их работоспособности или исправности;
- простота ТО и монтажно-демонтажных работ;
- наличие встроенной диагностической аппаратуры с датчиками сигнализации предельного и аварийного состояния основных сборочных единиц;

© М. А. ШИШАНОВ, Б. А. МЕЛЬНИК, Л. И. КОБЯКОВ, 2015

- наличие специальных разъемов для подключения переносной диагностической аппаратуры;
- ограниченная номенклатура инструментов, приспособлений, горючих и смазочных материалов.

С целью выполнения этих условий иностранные специалисты, в том числе американские, идут на некоторое увеличение массы и габаритов ВТ, поскольку, по их мнению, чрезмерное уплотнение компоновки ВТ для достижения минимально возможных габаритов отрицательно сказывается на ее восстанавливаемости и ремонтпригодности. Для количественной оценки этих требований должны быть определены и зарегистрированы такие показатели [4]:

- продолжительность и трудоемкость выполнения отдельных операций;
- количество исполнителей каждой операции;
- квалификация исполнителей;
- применяемые инструменты, принадлежности, оборудование и аппаратура, в том числе диагностическая;
- условия окружающей среды;
- отклонения от технологии, изложенной в документации ВТ;
- наработка ВТ или отдельных сборочных единиц;
- внешнее проявление отказов и боевых повреждений;
- перечень проверяемых сборочных единиц и последовательность их проверок.

Трудоемкость замены сборочной единицы можно определить по выражению

$$h_3 = \sum_{i=1}^k t_i n_i, \quad (1)$$

где  $h_3$  – трудоемкость замены сборочной единицы, чел./час;

$t_i$  – продолжительность  $i$ -й операции, час;

$n_i$  – количество исполнителей  $i$ -й операции, чел.;

$k$  – количество операций.

Средняя продолжительность восстановления ВТ определяется по выражению

$$\bar{T}_B = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (T_{ПО_j} + t_{3_j} + t_{СП_j}), \quad (2)$$

где  $\bar{T}_B$  – средняя продолжительность восстановления ВТ, час;

$M$  – количество отказов или боевых повреждений, после которых проводилось восстановление работоспособности или исправности ВТ;

$\bar{T}_{ПО_j}$  – продолжительность поиска причины  $j$ -го отказа, час;

$t_{3_j}$  – продолжительность замены (или ремонта) сборочной единицы, необходимой для восстановления работоспособности ВТ после  $j$ -го отказа, час;

$t_{СП_j}$  – продолжительность выполнения специальных (слесарно-механических, сварочных и т. д.) ремонтных работ, обусловленных характером  $j$ -го боевого повреждения, час.

Оценка средней стоимости восстановления ВТ может производиться по формуле

$$\bar{C}_B = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M [C_{3_j} + C_{M_j} + (h_{ПО_j} + h_{3_j} + h_{СП_j}) K_H C_P], \quad (3)$$

где  $\bar{C}_B$  – средняя стоимость восстановления ВТ, грн.;

$M$  – количество отказов или боевых повреждений, после которых проводилось восстановление работоспособности или исправности ВТ;

$C_{3_j}$  – стоимость замененных сборочных единиц, грн.;

$C_{M_j}$  – стоимость материалов, израсходованных при поиске причины  $j$ -го отказа и восстановления ВТ после отказа или боевого повреждения, грн.;

$h_{3_j}$  – трудоемкость замены или ремонта сборочной единицы после  $j$ -го отказа, чел./час;

$h_{ПО_j}$  – трудоемкость поиска причины  $j$ -го отказа, чел./час;

$h_{СП_j}$  – трудоемкость выполнения специальных (слесарно-механических, сварочных и т. д.) ремонтных работ, обусловленных характером  $j$ -го боевого повреждения, чел./час;

$K_H$  – коэффициент накладных расходов;

$C_P$  – стоимость одного человеко-часа ремонтных работ, грн·чел/час.

Значение темпа восстановления ВТ определяется как отношение вероятности восстановления ВТ, получившей боевые повреждения, к средней продолжительности восстановления. Показатели оценивают по формуле

$$\tau_B = \frac{P_{БП}}{\bar{T}_{БП}}, \quad (4)$$

где  $\tau_B$  – темп восстановления, 1/час;

$P_{БП}$  – вероятность восстановления ВТ, получившей боевые повреждения;

$\bar{T}_{БП}$  – средняя продолжительность восстановления ВТ, получившей боевые повреждения, час.

Значения  $P_{ВЭИ}$  определяют по фактическим результатам воздействия на ВТ поражающих средств.

Проблема восстанавливаемости и ремонтпригодности в процессе создания образца включает следующие аспекты:

- предварительную оценку;
- прогнозирование и проверку возможности создания восстанавливаемого образца;
- обеспечение восстанавливаемости и ремонтпригодности на стадии проектирования и конструирования образца ВТ.

Каждый из аспектов должен разрабатываться на определенном этапе создания образца ВТ.

Связь этапов разработки конструкции и параллельное решение аспектов восстанавливаемости образца свидетельствуют о том, что ее считают одним из основных свойств конструкции ВТ.

Вопросами обеспечения восстанавливаемости и ремонтпригодности в ходе создания новой конструкции должны заниматься специалисты, которые контролируют этапы создания нового образца с этой позиции.

По взглядам зарубежных специалистов, создание образца, в достаточной степени ремонтпригодного, невозможно без определенного уровня стандартизации, унификации и конструктивной преемственности его сборочных единиц, поэтому необходимо создание долгосрочной программы развития ВТ с учетом общих тенденций повышения уровня восстанавливаемости и ремонтпригодности, а также создания унифицированных семейств ВТ различного назначения, что способствует общему сокращению затрат на разработку, производство, эксплуатацию и повышение надежности образцов.

Отсутствие централизованной системы заказов и долгосрочной программы разработки ВТ в сочетании с установившейся практикой изготовления сборочных единиц на разных заводах может привести к выпуску большого количества базовых сборочных единиц для машин различного назначения. Это вызывает значительное повышение стоимости изготовления образцов, ухудшение уровня восстанавливаемости в условиях боевых действий войск, большое затруднение с поставкой запасных частей, ремонтом и обучением личного состава.

Прогнозированию и проверке восстанавливаемости конструктивных решений военные специалисты придают важное значение, особенно таким, как доступность к сборочным единицам – легко-

съемность, конструктивная преемственность сборочных единиц (взаимозаменяемость), унификация, стандартизация.

Можно привести некоторые специальные конструктивные приемы и решения для повышения восстанавливаемости и ремонтпригодности образца ВТ, в частности бронетанковой техники. Так, например, все системы танковых двигателей конструируются с расчетом сокращения до минимума их внешних соединений друг с другом, а также с корпусом танка, чтобы при замене двигателя было как можно меньше внешних соединений, а оставшиеся внешние соединения были обеспечены надежными и быстро отсоединяемыми и присоединяемыми разъемами.

В результате проведения этой работы все необходимые отсоединения и присоединения при замене двигателя или силового блока осуществляются в течение секунд или минут и не представляют трудностей для ремонтников в процессе их выполнения.

К наиболее характерным конструктивным приемам, повышающим восстанавливаемость и ремонтпригодность, можно отнести:

- снижение до минимума общего количества и максимальная стандартизация крепежных элементов;
- применение специального крепежа и легкоразъемных соединений, обеспечивающих удобство проведения демонтажнo-монтажных работ;
- унификация и нормализация конструкции специальных гаек, имеющих один размер паза под зацеп радиусным ключом;
- постоянное закрепление ключа на гайках узлов и систем, требующих частого и быстрого заворачивания (отворачивания) при эксплуатации;
- соединение трубопроводов различных систем армированными шлангами с помощью накидных гаек вместо дюритовых шлангов и стяжных болтов;
- применение легкоразъемных соединений с обратными клапанами, обеспечивающими автоматическое предотвращение утечки рабочей жидкости (топлива, масла, специальных жидкостей) из рабочих объемов при демонтаже сборочных единиц;
- применение специальных многоконтактных быстроразъемных штепсельных соединений экранированных кабелей электропроводки, ис-

ключающих возможность неправильного их подсоединения при монтаже;

- многоцветная проводка или маркировка набором разноцветных кембриков кабелей и проводов, а также ряд других конструктивных приемов.

Первым этапом в предварительной оценке изделия с позиции восстанавливаемости и ремонтпригодности является изучение условий, принципов обслуживания и ремонта, и на основе этого выработка качественных и количественных требований.

Вторым этапом является проведение ориентировочной прикидки возможной продолжительности ремонта каждой составной части создаваемого изделия на уровне подсистем (сборочных единиц).

Третьим этапом является расчет средней продолжительности ремонта изделия и сравнение ее с требуемым значением.

Следующим аспектом общей программы обеспечения восстанавливаемости и ремонтпригодности создаваемого изделия является их прогнозирование. Цели прогнозирования аналогичны целям, рассмотренным выше, предварительной оценки восстанавливаемости и ремонтпригодности. Если оценка является лишь ориентировочным расчетом удовлетворения заданных требований, то прогнозирование выполняется на таком этапе проектирования, когда уже в основном конкретизированы особенности конструкции изделия, а также средства и условия его ремонта и обслуживания. Это позволяет более детально описать свойства конструкции, оценить удовлетворяют ли они заданным требованиям.

При решении аспекта восстанавливаемости и ремонтпригодности изделия на стадии проектирования и конструирования необходимо руководствоваться военными стандартами, которые определяют требования к проведению программы восстанавливаемости и ремонтпригодности, особенно в процессе разработки конструкции вооружения, оптики с оптимальными параметрами. Кроме этого, для повышения уровня восстанавливаемости и ремонтпригодности при конструировании изделия рекомендуются использовать следующие приемы:

- предусматривать соответствующую доступность к элементам изделия для проведения операций ремонта и обслуживания;
- обеспечивать взаимозаменяемость сборочных единиц и деталей в изделиях, а также эксплуатационных материалов;

- максимально применять в конструкции изделия стандартизированные сборочные единицы и детали;
- сокращать количество и номенклатуру инструментов и вспомогательных приспособлений при ремонте и обслуживании.

Объем и периодичность операций по ремонту, обслуживанию, являющихся результатом конструкции, рекомендуется уменьшать проведением следующих мероприятий:

- повышением безотказности работы изделия;
- применением таких сборочных единиц и деталей, которые требуют мало или же не требуют вовсе обслуживания;
- расширением допусков, которые определяют длительность использования деталей в эксплуатации;
- применением соответствующих способов предотвращения коррозии элементов изделия.

Широкое распространение за рубежом нашло объединение сборочных единиц и систем в блоки. Основной целью создания блоков является повышение восстанавливаемости и ремонтпригодности путем сокращения продолжительности работ при ТО и Р этих блоков вне корпуса машины.

Реализация такого конструктивного решения позволяет при высокой плотности компоновки уменьшить продолжительность и трудоемкость ремонта, повысить его качество путем обеспечения легкосъемности всего блока, улучшением доступности ко всем сборочным единицам при снятом блоке.

Для исключения сложных центровочных работ применяются специальные направляющие и эксцентриковые точки для крепления двигателя, карданные соединения между механизмами передач и поворотов и бортовыми передачами, разрезные втулки, исключают необходимость в призонных болтах, специальные направляющие метки, пояски и другие аналогичные решения для удобства сборки и установки на место отдельных сборочных единиц и деталей.

Большое внимание зарубежные специалисты уделяют взаимозаменяемости сборочных единиц. Примером этому может служить то, что на бронетранспортер М113А1 могут устанавливаться блоки силовой установки и силовой передачи с дизельными и карбюраторными двигателями, а также двигатели и коробки передач с коммерческих автомобилей. При этом соединительные размеры, системы соединений и другие параметры унифици-

Таблица 1. Приспособленность танка “Абрамс” к ТО и Р

Вид ТО и Р	ТТТ		Фактически	
	время выполнения, час	трудоемкость чел./час	время выполнения, час	трудоемкость чел./час
Ежедневное ТО	0,75	3	0,6	2,55
Полугодовое ТО	36	64	28,3	42,9
Войсковой ремонт	4	8	3,4	6,14
Полевой ремонт	12	22	11,4	18,9

цированы, что позволяет устанавливать эти двигатели и сборочные единицы трансмиссии без переделки корпуса машины и мест их крепления.

Вместе с тем, сборочные единицы, поступающие для армии с коммерческих машин, должны быть значительно усилены и к ним должны предъявляться особые требования по надежности.

Решение проблемы восстанавливаемости и ремонтпригодности в настоящее время может осуществляться по следующим направлениям:

- создание семейств ВТ по весовым категориям, используя для каждой весовой категории одну базу, в том числе для машин технического и другого обеспечения;
- стандартизация, унификация сборочных единиц для семейства машин одной весовой категории;
- стандартизация, унификация сборочных единиц для семейства машин различных весовых категорий;
- проведение узаконенного комплекса мероприятий по оценке восстанавливаемости и ремонтпригодности на всех этапах создания изделия, в результате которых заказчик получает гарантию того, что изделие будет обладать высокой приспособленностью к ремонту и техническому обслуживанию (ТО и Р) в полевых условиях (табл. 1).

Повышение восстанавливаемости и ремонтпригодности ВТ осуществляется путем внедрения конструктивных решений, обеспечивающих:

- взаимозаменяемость сборочных единиц;
- доступность к каждой сборочной единице;
- легкосъемность;
- контролепригодность;
- защищенность от ошибок, то есть приспособленность к ТО и Р специалистами низкой квалификации;
- преемственность.

Интенсивная работа по решению проблемы восстанавливаемости и ремонтпригодности и ее практическая реализация приведет к определенным успехам, в результате которых образцы ВТ будут находиться на должном уровне, особенно в условиях боевых действий войск.

### Выводы

Таким образом, современное состояние проблемы обеспечения восстанавливаемости и ремонтпригодности машин военного назначения требует как совершенствования путем их развития, так и внедрения в реальные конструкции новых технических решений. В связи с этим рассматриваемая проблема должна находиться в центре внимания военного командования.

Научно обоснованные взгляды на решение этой проблемы окажут существенное влияние на боеготовность войск, особенно в период проведения антитеррористических (специальных) операций.

### Список литературы

1. *Надійність техніки*. Терміни та визначення : ДСТУ 2860-94. – К. : Держстандарт України, 1994. – 25 с.
2. *Технология ремонта бронетанковой техники* : учеб. пособие / под ред. М. И. Марютина. – М. : ВА БТВ, 1973. – 591 с.
3. *Ремонтпригодность машин* / под ред. П. Н. Волкова. – М. : Машиностроение, 1975. – 368 с.
4. *Надежность и эффективность в технике* : справ. В 10 т. – Т. 8. – М. : Машиностроение, 1990. – 319 с.



**Бойовий лазер** для безпілотників (БПЛА) розробляє компанія General Atomics. Розроблений твердотільний лазер, який буде мати імпульсну потужність до 150 кВт, призначено для встановлення на великий БПЛА Avenger. Але в перспективі такі системи можуть бути встановлені й на БПЛА меншого класу типу Reaper. Сама по собі лазерна система достатньо громіздка й важка. Для її роботи потрібна велика кількість енергії. З метою вирішення другої проблеми спеціалісти компанії General Atomics уже спроектували енергетичну систему, яка використовує проміжне сховище енергії, що може бути на 100% заряджено на землі й постійно підзаряджатися під час польоту БПЛА. Якщо спеціалістам General Atomics вдасться здійснити мініатюризацію їхньої лазерної системи, це зробить БПЛА з лазерами досить серйозною зброєю.



**BAE Systems** розробила систему Battle View 360, що за рахунок функцій доповненої реальності зробила «прозорими» корпуси танків, що дозволяє членам екіпажу краще сприймати ситуацію й швидше приймати рішення. Технології, що лежать в основі системи BattleView 360, походять від схожих систем, які розроблено спочатку з метою використання в літаках-винищувачах. У цих системах застосовують сенсорні монітори й візуальний інтерфейс, який встановлено на шоломі. Представники компанії BAE Systems повідомляють, що створена ними система має широку універсальність й може бути встановлена практично на всіх типах танків та іншої бронетехніки.



**Компанія Lockheed Martin** розробила бойові лазерні системи ATHENA (Advanced Test High Energy Asset), потужністю 60 кВт, що можуть

бути встановлені на наземних засобах і малих морських суднах. Якісна система управління дозволяє вести вогонь з лазерної системи ATHENA однієї людини. Сама лазерная система має модульну конструкцію, що дозволяє регулювати потужність вихідного лазерного імпульсу в широких межах і легко ремонтувати. Тіло лазера – спеціальне волокно, яке зміцнене рідкісноземельними металами, такими як ербій, ітербий, неодимій та ін. Оптоволокно є гнучким, і лазерна система може утримувати тисячі метрів цього волокна, яке займає невеликий об'єм.

**ICARUS** (Inbound, Controlled, Air-Releasable, Unrecoverable Systems) – програма DARPA самоліквідування електронних обладнань, яку розроблено з метою створення безпілотників, що здатні «розчинитися» повністю в навколишньому середовищі, коли завдання виконано.



**Компанія Rafael** (Ізраїль) розробила лазерну систему Iron Beam. Її призначено для захисту від ворожих ракет, артилерійських снарядів та безпілотних літальних апаратів. Система Iron Beam, якщо одержить широке розповсюдження, буде означати, що лазери є кращий засіб захисту від ракет та безпілотників сьогодні. Ефективна дальність дії системи Iron Beam – близько двох кілометрів (1,25 мілі).

*За матеріалами зарубіжних видань  
підготовлено Г.О. Бойком*