

УДК 621.391.8+621.396.96

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.2\(42\).47-57](https://doi.org/1034169/2414-0651.2024.2(42).47-57)

**С. Д. ЗІБІН**, кандидат технічних наук  
<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>

**А. О. ПОПОВ**, кандидат технічних наук, доцент  
<https://orcid.org/0000-0002-8560-617X>

**В. В. ТВЕРДОХЛІБОВ**, кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
<https://orcid.org/0000-0002-6802-9796>

**Л. В. БІЛОБОРОДОВА**  
<https://orcid.org/0000-0003-0335-240X>  
(Центральний науково-дослідний інститут  
озброєння та військової техніки Збройних Сил  
України, м. Київ)

## ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО РІВНЯ ЗРАЗКІВ ТЕХНІКИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ

Визначено різницю між двома поняттями, які застосовуються у сфері розробки та створення озброєння та військової техніки та є визначальними: «технічний рівень» і «технологічний рівень». Наведено основні риси методології, що заснована на так званих рівнях готовності технологій та широко використовується у світі для оцінки якості технологій, які спрямовані на забезпечення оборонних та інших важливих потреб держави.

Розроблено методуку оцінки технологічного рівня зразків техніки радіоелектронної боротьби та радіоелектронної розвідки. Показується, що для оцінки технологічного рівня зразків техніки радіоелектронної боротьби та радіоелектронної розвідки методукою передбачено визначати типовий склад груп декомпозиції показників, які обумовлюють цей рівень, при цьому склад груп декомпозиції є притаманним також і для радіоелектронної техніки іншого функціонального призначення, а саме, для переважної більшості систем передачі інформації, систем радіолокації, навігації та систем управління.

Стверджується, що розроблена методика оцінки технологічного рівня поряд із методукою оцінки технічного рівня зразків озброєння та військової техніки має застосовуватись у ході науково-технічного супроводження дослідно-конструкторських робіт.

**Ключові слова:** технологія, технічний рівень зразка, технологічний рівень зразка, оцінка технологічного рівня зразка, рівні готовності технологій, техніка радіоелектронної боротьби, техніка радіоелектронної розвідки, зразок-аналог, коефіцієнт технологічного рівня, група декомпозиції.

### ВСТУП

Досвід відбиття збройної агресії РФ, а також досвід локальних війн та збройних конфліктів останніх десятиріч переконливо свідчать про вирішальну роль основних видів оперативного забезпечення і зокрема, розвідки та радіоелектронної боротьби у досягненні мети збройного конфлікту в цілому. Актуальність створення та/або закупівлі засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) полягає у необхідності вирішення завдань захисту своїх військ, пунктів управління, озброєння та військової техніки (ОВТ), складів, тощо, від повітряної розвідки, та як наслідок, від їх можливого вогневого ураження, а також вирішення завдань дезорганізації управління та радіоелектронної блокади районів зосередження противника шляхом радіоелектронного подавлення сучасних засобів зв'язку та передачі інформації, а також наземних та бортових терміналів користувачів супутникових радіонавігаційних систем.

Актуальність створення та/або закупівлі засобів радіоелектронної розвідки (РЕР) полягає у необхідності вирішення завдань інформаційного забезпечення прийняття рішень на ведення бойових дій, вогневого ураження противника, а також ведення РЕБ. Розробка та/або закупівля, а також прийняття на озброєння сучасних та перспективних зразків техніки РЕР та РЕБ вимагають безперервного моніторингу сучасного стану розвитку таких засобів у ЗС передових держав світу, виявлення нових напрямів та тенденцій їх розвитку, а також здійснення порівняльного аналізу не лише технічного рівня нових зразків ОВТ в галузі РЕР та РЕБ, а й дослідження їх технологічного рівня.

Це обумовлено тим, що швидкі темпи поширення радіоелектронних засобів (РЕЗ) у військовій сфері забезпечуються триваючим технічним прогресом в галузі створення нових технологій для засобів радіолокації, радіонавігації, засобів і систем радіозв'язку та передачі інформації, які функціонують в умовах великого навантаження робочих діапазонів частот, радіоелектронного подавлення та високої динаміки зміни радіоелектронної обстановки в просторі та часі. Розвиток та впровадження нових технологій у РЕЗ воєнного призначення, які є водночас джерелами розвідувальних відомостей для РЕР та цілями для РЕБ, змушує розробників застосувати нові технології у техніці РЕР і РЕБ, оскільки у іншому випадку застарілі зразки ОВТ дуже швидко втрачають свою ефективність у ході збройної боротьби.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Аналіз тенденцій, основних напрямків та перспектив розвитку ОВТ, в тому числі радіоелектронної техніки військового призначення розглянуто в роботах [1–4]. Питання технологічного розвитку та деякі підходи до оцінки технологій розглядаються в роботах [5–10]. Загальні питання оцінки технологічного рівня підприємств промисловості представлені в роботах [11–16]. Деякі підходи до оцінки технологічного рівня промислової продукції розглянуті в роботі [17]. Питанням оцінки технічного рівня зразків ОВТ присвячені роботи [18, 19]. Аналіз напрямків технологічного розвитку у військовій сфері наведено у монографії [20].

**Метою** роботи є розробка та демонстрація методики оцінки технологічного рівня зразків техніки РЕБ і РЕР та демонстрація застосування розробленої методики для оцінки технологічного рівня двох зразків-аналогів станцій РЕР.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Поняття «технологія» широко застосовується при визначенні основних термінів, які характеризують систему розроблення та поставлення на виробництво ОВТ: «виробництво», «військово-технічне співробітництво», «військово-технічний потенціал», «державний замовник з оборонного замовлення» та ін. [21]. В роботі під технологією (військового призначення) розуміється продукт науково-технічної розробки, представлений у формі спеціальної інформації, яка необхідна для розроблення, виробництва або використання виробів військового призначення.

Існує суттєва різниця між двома поняттями, які застосовуються у сфері розробки та створення ОВТ та є визначальними: «технічний рівень» та «технологічний рівень». При цьому під *технічним рівнем виробу* розуміється сукупність експлуатаційно-технічних показників, які визначають ступінь досконалості виробу порівняно з кращими світовими зразками [21].

Відомо, наприклад, що суперкомп'ютери та процесори персональних комп'ютерів (ПК) різних поколінь можуть мати однакову продуктивність, яка вимірюється кількістю операцій з плаваючою комою, що виконуються за секунду (FLOPS – FLoating points OPerations per second), тобто можуть мати однаковий технічний рівень за деякими технічними показниками, але при цьому суттєво відрізняються за своїм технологічним рівнем (табл. 1).

Справа полягає у тому, що технологічний рівень при виготовленні напівпровідникових інтегральних мікросхем визначається розрізнявальною здатністю (що вимірюється в мкм та нм) фотолітографічного обладнання, яке застосовується, при цьому розрізнявальна здатність визначає назву конкретного технологічного процесу [15, 16, 19]. В роботі під *технологічним рівнем виробу* розуміється сукупність кількісно-якісних показників, які визначають ступінь досконалості технологій (військового призначення), впроваджених при розробці та створенні виробу у порівнянні з кращими світовими зразками.

У сфері управління технологіями використовуються два поняття – «оцінка технологій» (Technology Assessment) та «рівні готовності технологій» (Technology Readiness Levels). У світі для оцінки якості технологій, які застосовуються для забезпечення оборонних та ін-

ших важливих потреб держави, застосовується певна методологія, що заснована на так званих рівнях готовності технологій (РТГ) [5, 7, 8].

Рівні готовності технологій (Technology Readiness Levels – TRL) – це метод оцінки зрілості технологій на етапі придбання у програмі, розробленій в НАСА (National Aeronautical and Space Administration – NASA) у період 1970-х років [11]. Рівні технологічної готовності спочатку були задумані в НАСА в 1974 році і формально визначені в 1989 році [11, 12]. Первісне визначення включало сім рівнів, але в 1990-х роках НАСА прийняло нинішню дев'ятирівневу шкалу, яка згодом отримала широке визнання [5, 8]. Повітряні сили збройних сил США прийняли використання рівнів готовності технології в 1990-х [11–14].

Використання РТГ дозволяє послідовно та з одних позицій оцінювати технічну зрілість для різних типів технологій. РТГ визначається під час оцінки готовності технологій, яка вивчає програмні концепції, технологічні вимоги та продемонстровані технологічні можливості. РТГ базуються на шкалі від 1 до 9, де 9 є найбільш якісною технологією. Міністерство оборони США використовує шкалу РТГ для державних закупівель ОВТ з початку 2000-х. До 2008 року шкала РТГ також використовувалася в Європейському космічному агентстві. Європейська комісія порадила науково-дослідним організаціям та установам, які керують впровадженням інноваційних проектів, що фінансуються ЄС, прийняти шкалу РТГ у 2010 році. РТГ були використані в 2014 році в ЄС у програмі Horizon 2020. У 2013 році шкала РТГ була додатково закріплена стандартом ISO 16290:2013 [11–14].

Поточні визначення РТГ передбачають таку стислу характеристику [11–14]:

РТГ 1 – було виявлено основні принципи; РТГ 2 – сформульована концепція технології; РТГ 3 – Експериментальне підтвердження концепції; РТГ 4 – технологія, перевірена в лабораторії; РТГ 5 – технологія, перевірена у відповідному середовищі (релевантне промислове середовище у випадку ключових технологій, що сприяють розвитку); РТГ 6 – технологія, продемонстрована у відповідному середовищі (релевантне промислове середовище у випадку ключових технологій, що сприяють розвитку); РТГ 7 – демонстрація прототипу системи в робочому середовищі; РТГ 8 – система повна та кваліфікована; РТГ 9 – фактична система, перевірена в робочому середовищі (конкурентоспроможне виробництво у випадку ключових технологій, що сприяють розвитку).

Певна відповідність між РТГ та етапами створення зразка ОВТ в межах Системи розроблення і поставлення

Т а б л и ц я 1. Продуктивність деяких суперкомп'ютерів та процесорів ПК різних поколінь

Суперкомп'ютери, рік випуску	Продуктивність, flop/s	Процесори ПК, рік випуску	Продуктивність, flop/s
Cray-1 (1974)	133×106	Intel 80486DX4 (1994)	100×106
Ельбрус-2 (1984)	125×106	Intel Pentium 200 MHz (1996)	200×106
ASCI Red (1996)	1×10 <sup>12</sup>	AMD Ryzen 9 3950X (2019)	0.9×10 <sup>12</sup>
ASCI White (2000)	12.3×10 <sup>12</sup>	AMD EPYC 7H12 (2019)	4.2×10 <sup>12</sup>

на виробництво ОВТ уявляється такою: РТГ 1, 2 – підготовлено аванпроект на створення зразка; РТГ 3...5 – розроблено технічний проект на створення зразка; РТГ 6, 7 – розроблено робочу конструкторську документацію, створено дослідний зразок, який пройшов попередні випробування; РТГ 8 – дослідний зразок успішно пройшов державні випробування; РТГ 9 – зразок успішно пройшов підконтрольну експлуатацію.

На думку авторів статті, оцінку технологічного рівня зразка необхідно здійснювати в ході проведення науково-технічної експертизи технічного проекту зразка.

Для оцінки технологічного рівня зразків техніки РЕБ та РЕР обрано типовий склад груп декомпозиції показників, які визначають технологічний рівень зразка, при цьому цей склад груп є притаманним також й для радіоелектронної техніки різного функціонального призначення, а саме, для переважної більшості систем передачі інформації, систем радіолокації, навігації, систем управління, систем руйнування інформації тощо (за наявністю в залежності від конкретного виду зразка) [22]:

- показники групи приймальної антенної системи (АС);
- показники групи приймальної системи (ПрС);
- показники групи апаратури технічного аналізу;
- показники групи передавальної АС;
- показники групи передавальної системи (ПеС);
- показники групи апаратури формування корисних сигналів;
- показники групи системи цифрової обробки сигналів.

В межах наведених груп декомпозиції, в якості узагальненого прикладу визначимо показники, які притаманні системам руйнування інформації (системам радіоелектронного подавлення та радіоелектронної протидії):

1) показники групи приймальної АС: коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) антени  $i$ -го піддіапазону; коефіцієнт корисної дії (ККД) антени  $i$ -го піддіапазону; відносна широкосмуговість антени  $i$ -го піддіапазону; загальна кількість піддіапазонів АС; тип антен зі складу АС; відносна різниця між нормованими діаграмами спрямованості АС за ТП та виготовленою АС; поляризація антен; коефіцієнт подавлення перешкод з одного напрямку; максимальна кількість напрямків, з яких можливе подавлення перешкод; швидкість пошуку сигналів (цілі, ДРВ, тощо) за напрямком; розрядність аналого-цифрового перетворювача (АЦП) (для антен з ЦОС); швидкодія АЦП (для антен з ЦОС);

2) показники групи приймальної системи: відносна широкосмуговість приймальної системи; відносна широкосмуговість приймального пристрою (ПрП)  $i$ -го піддіапазону; загальна кількість каналів (піддіапазонів ПрС); коефіцієнт шуму ПрП  $i$ -го піддіапазону; чутливість ПрП; динамічний діапазон ПрП; коефіцієнт подавлення перешкод; тип ПрП; розрядність АЦП (для ПрС з ЦОС); швидкодія АЦП (для ПрС з ЦОС); швидкість пошуку по частоті;

3) показники групи апаратури технічного аналізу: перелік параметрів сигналів, що підлягають технічному аналізу; точності та діапазони вимірювання частотно-часових параметрів сигналів;

4) показники групи передавальної АС: КСХ антени  $i$ -го піддіапазону; ККД антени  $i$ -го піддіапазону; відносна широкосмуговість антени  $i$ -го піддіапазону; загальна кількість піддіапазонів АС; тип антен зі складу антенної системи; відносна різниця між нормованими діаграмами спрямованості АС за ТП та виготовленою АС; коефіцієнт зменшення розмірів антени  $i$ -го піддіапазону за рахунок використання діелектричного середовища; гранична робоча потужність антени  $i$ -го піддіапазону; поляризація;

5) показники групи передавальної системи (ПеС): спектральна щільність потужності шумової перешкоди  $i$ -го піддіапазону; відносна широкосмуговість передавального пристрою (ПеП)  $i$ -го піддіапазону; загальна кількість піддіапазонів ПеС; нерівномірність АЧХ ПеП; коефіцієнт гармонічних спотворень;

6) показники групи апаратури формування корисних сигналів: типи і перелік перешкодових сигналів; частотно-часові структури та статистичний розподіл перешкодових сигналів;

7) показники групи системи цифрової обробки сигналів: характеристики алгоритмів пошуку та виявлення сигналів на фоні шумів (перешкод), включаючи алгоритми просторово-часової фільтрації сигналів; характеристики алгоритмів визначення кутів приходу сигналів; характеристики алгоритмів визначення часу приходу сигналів; характеристики алгоритмів визначення місцеположення ДРВ; характеристики алгоритмів вимірювання частотних параметрів сигналів; характеристики алгоритмів вимірювання часових параметрів сигналів; характеристики алгоритмів розпізнавання сигналів; характеристики алгоритмів формування перешкод; характеристики апаратної частини системи ЦОС.

Звернемо увагу, що для зразків радіоелектронної техніки іншого функціонального призначення (систем передачі інформації, радіолокації, та ін.) перелік показників в межах зазначених груп декомпозиції має свої особливості. Характеристики складових зразка техніки РЕБ, які визначаються у технічному проекті (ТП) та використовуються для оцінки технологічного рівня, а також їх вплив на параметри зразка згідно тактико-технічного завдання на розробку зразка наведені у табл. 2.

Для здійснення порівняльного аналізу, в якості зразків-аналогів обрані такі системи радіоелектронної розвідки: наземна станція радіотехнічної розвідки СДР-2А виробництва СРСР та наземна станція радіотехнічної розвідки «Кольчуга-М», виробництва ХК «Топаз», Україна. При цьому, аналізу підлягають лише такі спроможності зразків, які стосуються умов дальнього тропосферного розповсюдження радіохвиль.

Опосередковане значення вагового коефіцієнта  $i$ -ї групи декомпозиції з наведених трьох груп наведено у табл. 3.

Вихідні дані для порівняльного аналізу технологічного рівня зразків-аналогів, які досліджуються, наведено у табл. 4. Якісна порівняльна характеристика приймачів різних типів, які використовуються у засобах та комплексах РРТК, РЕР, радіомоніторингу наведені у [23; табл. 3.11], [24; табл. 5].

Оцінка впливу визначених груп декомпозиції та окремо оцінка впливу визначених показників в кожній групі на рівень технічної досконалості ОВТ даного виду

Таблиця 2. Характеристики складових зразка, які визначаються у технічному проекті та використовуються для оцінки технологічного рівня

Складові структурні елементи зразка	Характеристики складових зразка, які визначаються у ТП та використовуються для оцінки технологічного рівня	На які параметри зразка згідно ТТЗ або ТП впливають вказані характеристики
приймальна антенна система (АС)	КСХ антени <i>i</i> -го піддіапазону	широкосмуговість АС
	ККД антени <i>i</i> -го піддіапазону	коефіцієнт підсилення АС*
	відносна широкосмуговість антени <i>i</i> -го піддіапазону	широкосмуговість АС
	загальна кількість піддіапазонів АС	широкосмуговість АС
	тип антен зі складу АС	метод пошуку за напрямком*; роздільна здатність по кутовим координатам; точність вимірювання кутових координат РЕЗ; межі роботи по кутовим координатам; можливість та вид управління діаграмою спрямованості АС; коефіцієнт спрямованої дії АС*
	відносна різниця між нормованими діаграмами спрямованості АС за ТП та виготовленою АС	те саме
	поляризація антен	імовірність виявлення; дальність РЕР
	коефіцієнт подавлення перешкод з одного напрямку	імовірності правильного виявлення та хибної тривоги; дальність виявлення
	максимальна кількість напрямків, з яких можливе подавлення перешкод	те саме
	швидкість пошуку за напрямком	імовірність виявлення
	розрядність АЦП (для антен з ЦОС)	динамічний діапазон*
	швидкодія АЦП (для антен з ЦОС)	швидкість обробки інформації*, максимальна частота сигналів, що обробляються*
приймальна система (ПрС)	відносна широкосмуговість ПрС	широкосмуговість ПрС
	загальна кількість каналів (піддіапазонів) ПрС	широкосмуговість ПрС
	коефіцієнт шуму ПрП <i>i</i> -го піддіапазону	чутливість ПрП*
	чутливість ПрП	динамічний діапазон ПрП*; імовірність виявлення; дальність РЕР
	динамічний діапазон ПрП	імовірність виявлення; дальність РЕР
	коефіцієнт подавлення перешкод	імовірності правильного виявлення та хибної тривоги; дальність виявлення
	тип ПрП	метод пошуку по частоті*
	розрядність АЦП (для ПрС з ЦОС)	динамічний діапазон ПрС*
	швидкодія АЦП (для ПрС з ЦОС)	швидкість обробки інформації; максимальна частота сигналів, що обробляються
	швидкість пошуку по частоті	імовірність виявлення
апаратура технічного аналізу	перелік параметрів сигналів, що підлягають технічному аналізу	імовірність розпізнавання сигналів РЕЗ; типи РЕЗ, сигнали яких розпізнаються; характеристики параметричної селекції сигналів
	точності та діапазони вимірювання частотно-часових параметрів сигналів	імовірність розпізнавання сигналів РЕЗ; типи РЕЗ, сигнали яких розпізнаються; точність визначення координат ДРВ; характеристики параметричної селекції сигналів
передавальна АС	КСХ антени <i>i</i> -го піддіапазону	широкосмуговість АС
	ККД антени <i>i</i> -го піддіапазону	коефіцієнт підсилення АС*
	відносна широкосмуговість антени <i>i</i> -го піддіапазону	широкосмуговість АС
	загальна кількість піддіапазонів АС	широкосмуговість АС

Складові структурні елементи зразка	Характеристики складових зразка, які визначаються у ТП та використовуються для оцінки технологічного рівня	На які параметри зразка згідно ТТЗ або ТП впливають вказані характеристики
	тип антен зі складу антенної системи	розміри секторів РЕП по кутовим координатам; рівень бокових пелюстків АС; можливість та вид управління діаграмою спрямованості АС; коефіцієнт спрямованої дії АС*
	відносна різниця між нормованими діаграмами спрямованості АС за ТП та виготовленою АС	коефіцієнт спрямованої дії АС*; рівень електромагнітної сумісності
	коефіцієнт зменшення розмірів антени <i>i</i> -го піддіапазону за рахунок використання діелектричного середовища	масо-габаритні показники АС*; час розгортання – згортання зразка
	гранична робоча потужність антени <i>i</i> -го піддіапазону	дальність РЕП
	поляризація	імовірність РЕП РЕЗ; дальність РЕП
передавальна система (ПеС)	спектральна щільність потужності шумової перешкоди <i>i</i> -го піддіапазону	вихідна потужність перешкоди; дальність РЕП; максимальна кількість каналів з фіксованими робочими частотами (ФРЧ) та програмною перебудовою робочої частоти (ППРЧ), що подаються одночасно
	відносна ширококутовість передавального пристрою (ПеП) <i>i</i> -го піддіапазону	ширококутовість ПеС
	загальна кількість піддіапазонів ПеС	ширококутовість ПеС
	нерівномірність АЧХ ПеП; коефіцієнт гармонічних спотворень	рівні позасмугових та побічних випромінювань ПеП <i>i</i> -го піддіапазону
апаратура формування корисних сигналів	типи і перелік перешкодових сигналів	кількість та перелік функціоналів РЕП, що забезпечуються; рівні позасмугових та побічних випромінювань ПеП
	частотно-часові структури та статистичний розподіл перешкодових сигналів	те саме
автоматизоване робоче місце (АРМ) командира/оператора	(технологічний рівень не оцінюються)	характеристики ПЕОМ; характеристики спеціалізованого програмного забезпечення (СПЗ); характеристики баз даних; характеристики функцій управління
система контролю	(технологічний рівень не оцінюються)	параметри зразка, які підлягають контролю; характеристики тренажеру; характеристики імітатора РЕЗ
система управління антенною системою	(технологічний рівень не оцінюються)	швидкість пошуку цілі по кутовим координатам; межі роботи по кутовим координатам; характеристики автосупроводження цілі та екстраполяції
система цифрової (аналогової) обробки сигналів (ЦОС/АОС) <i>характеристики алгоритмів:</i> обчислювальна складність (кількість операцій з плаваючою комою (ПК)/фіксованою комою (ФК)); швидкість зростання обсягу обчислень при зростанні розмірності вихідних даних; інформаційна складність (складність опису)	характеристики алгоритмів пошуку та виявлення сигналів на фоні шумів (перешкод), включаючи алгоритми просторово-часової фільтрації сигналів	імовірність виявлення; дальність РЕП; коефіцієнт подавлення перешкод
	характеристики алгоритмів визначення кутів приходу сигналів	точності та діапазони вимірювання кутових параметрів просторових сигналів
	характеристики алгоритмів визначення часу приходу сигналів	точності та діапазон вимірювання часу приходу сигналів
	характеристики алгоритмів визначення місцеположення ДРВ	точності вимірювання координат РЕЗ
	характеристики алгоритмів вимірювання частотних параметрів сигналів	точності та діапазони вимірювання частотних параметрів сигналів
	характеристики алгоритмів вимірювання часових параметрів сигналів	точності та діапазони вимірювання часових параметрів сигналів
	характеристики алгоритмів розпізнавання сигналів	імовірність розпізнавання сигналів РЕЗ

Складові структурні елементи зразка	Характеристики складових зразка, які визначаються у ТП та використовуються для оцінки технологічного рівня	На які параметри зразка згідно ТТЗ або ТП впливають вказані характеристики
та зберігання даних); співвідношення сигнал-шум, при якому забезпечуються задані показники якості обробки сигналів	характеристики алгоритмів формування перешкод	імовірність РЕП; кількість та перелік функціоналів РЕП, що забезпечуються
	характеристики апаратної частини системи ЦОС: кількість процесорів ЦОС*, тактова частота процесора ЦОС*, кількість ядер процесора ЦОС*, продуктивність процесора ЦОС* (FLOPs)	

\* Примітка – параметри, які визначаються на етапі розробки ТП

Т а б л и ц я 3. Значення вагових коефіцієнтів груп декомпозицій

Номер групи декомпозиції	Назва групи декомпозиції	Значення вагового коефіцієнта групи декомпозиції
1	показники групи приймальної АС	0,35
2	показники групи приймальної системи	0,35
3	показники групи апаратури технічного аналізу	0,3

Т а б л и ц я 4. Вихідні дані для порівняльного аналізу зразків-аналогів

Складові структурні елементи зразка	Характеристики складових зразка, які використовуються для оцінки технологічного рівня	СДР-2А	Кольчуга-М	Еталонний зразок
приймальна антенна система (АС)	КСХ антени <i>i</i> -го піддіапазону	<2.9 (9.3dB)	<3.5 (11dB)	<2 (3dB)
	ККД антени <i>i</i> -го піддіапазону	0.6	0.7	0.9
	відносна широкосмуговість антени <i>i</i> -го піддіапазону	1.73/ 1.56/ 1.48	4.7/ 2.67/ 2.0/ 2.0/ 1.5	6/2.67
	кількість піддіапазонів АС на 1 ГГц	3/2.8	5/12	2/12
	нижня/ верхня межа піддіапазону, ГГц	0.926...1.6/ 1.6...2.5/ 2.5...3.7	0.1...0.47/ 0.75...2.0/ 2.0...4.0/ 4.0...8.0/ 8.0...12.0	0.75...4.5/ 4.5...12.0
	тип антен зі складу АС	вирізка з параболюїду, опромінювачі – спіральні антени	вирізка з параболюїду, опромінювачі – 4-х елементні АР	антенні решітки на елементах Вівальді, запресованих у діелектричне середовище
	коефіцієнт зменшення розмірів антени <i>i</i> -го піддіапазону за рахунок використання діелектричного середовища/ значення діелектричної проникності	0.6/ 3	1.0/ 1	0.316/ 3.16
	поляризація антен	кругова ліва та права	нахильна, 45°	кругова ліва та права
	коефіцієнт подавлення перешкодових сигналів з одного напрямку	∞ (система селекції головного пелюстка)	—	∞ (система селекції головного пелюстка)
	максимальна кількість напрямків, з яких можливе подавлення перешкодових сигналів	∞	—	∞
	швидкість пошуку за напрямком	0.05...0.5 об/хв.	0.2...1.5 об/хв.	безпошуковий метод
	розрядність АЦП (для антен з ЦОС)	—	—	16
	швидкодія АЦП (для антен з ЦОС)	—	—	9·10 <sup>9</sup> відліків/с

Складові структурні елементи зразка	Характеристики складових зразка, які використовуються для оцінки технологічного рівня	СДР-2А	Кольчуга-М	Еталонний зразок
	відносна широкосмуговість ПрП	4	16	16
приймальна система (ПрС)	кількість каналів ПрС 1-го ступеню уточнення частоти 2-го ступеню уточнення частоти	12 10	36	1024
	коефіцієнт шуму ПрП <i>i</i> -го піддіапазону	10 (10 дБ)	4 (6 дБ)	3 (4.77 дБ)
	чутливість ПрП, дБ/Вт	-90	-110	-120
	динамічний діапазон ПрП, дБ	80	80±10; 60±10	96
	коефіцієнт подавлення імпульсних перешкоджаючих послідовностей	∞	—	∞
	тип ПрП*	багатоканальний прямого підсилення, супергетеродинний багатоканальний, +панорамний	багатоканальний прямого підсилення, супергетеродинний +акустооптичний	багатоканальний прямого підсилення, супергетеродинний багатоканальний, +панорамний
	розрядність АЦП (для ПрП з ЦОС)	—	10	16
	швидкодія АЦП (для ПрП з ЦОС)	—	—	< 9·10 <sup>9</sup> відліків/с
	швидкість пошуку сигналу по частоті	∞	∞	∞
апаратура технічного аналізу	характеристики пристроїв аналізу та вимірювання параметрів сигналів:			
	тривалості імпульсу, мкс: діапазон вимірювання/ точність	0.5...5 /0.5; 5...20 /1;	0.5...32 /0.1	0.5...64 /0.1
	періоду слідування імпульсів, мкс: діапазон вимірювання/ точність	100...20000/2	100...80000/0.1	100...100000/0.1
	періоду слідування серій імпульсів: діапазон вимірювання/ точність	0.1...5 с/ 5 мс; 5...40 с/ 30 мс	—	0.1...40 с/ 5 мс
	несучої частоти, МГц діапазон вимірювання/ точність без аналізу: при аналізі:	926...3700/±14; ±1	130...12000/±3; ±0.4	750...12000/±1; ±0.25
	пеленгу, град	2...6	0.5...1.0	0.5
	розпізнавання типів РЛС, од.	160	200	512

\*Примітка — показник обирається на основі таблиць з [23, 24].

Т а б л и ц я 5. Значення вагових коефіцієнтів у групах декомпозиції

Назва групи декомпозиції	Назва <i>j</i> -ї технічної характеристики в <i>i</i> -й групі декомпозиції	Значення вагового коефіцієнта <i>j</i> -ї технічної характеристики в <i>i</i> -й групі декомпозиції
показники групи приймальної АС	КСХ антени <i>i</i> -го піддіапазону	0.1
	ККД антени <i>i</i> -го піддіапазону	0.1
	відносна широкосмуговість антени <i>i</i> -го піддіапазону	0.15
	кількість піддіапазонів АС на 1 ГГц	0.15
	нижня/ верхня межа піддіапазону, ГГц	0.15
	коефіцієнт зменшення розмірів антени <i>i</i> -го піддіапазону за рахунок використання діелектричного середовища	0.1
	поляризація антен	0.1
	коефіцієнт подавлення перешкодових сигналів з одного напрямку	0.05

Назва групи декомпозиції	Назва $j$ -ї технічної характеристики в $i$ -й групі декомпозиції	Значення вагового коефіцієнта $j$ -ї технічної характеристики в $i$ -й групі декомпозиції
	максимальна кількість напрямків, з яких можливе подавлення перешкодових сигналів	0.05
	швидкість пошуку за напрямком	0.05
показники групи приймальної системи	відносна широкосмуговість ПрП	0.15
	кількість каналів ПрС на 1 ГГц	0.15
	коефіцієнт шуму ПрП $i$ -го піддіапазону	0.1
	чутливість ПрП	0.1
	динамічний діапазон ПрП	0.15
	коефіцієнт подавлення імпульсних перешкоджаючих послідовностей	0.1
	тип ПрП*	0.1
	розрядність АЦП	0.05
	швидкість пошуку по частоті	0.1
показники групи апаратури технічного аналізу	характеристики діапазону та точності вимірювання параметрів сигналів, а також їх розпізнавання	діапазон вимірювання/ точність
	тривалості імпульсу	0.1/ 0.1
	періоду слідування імпульсів	0.2/ 0.2
	періоду слідування серій імпульсів	0.05/ 0.05
	центральної частоти спектру сигналу при автоматичному аналізі	—/ 0.15
	пеленгу	—/ 0.05
	автоматичне розпізнавання типів РЛС	0.1

\*Примітка – показник обирається на основі таблиць з [23, 24].

реалізується за допомогою методу прямої експертної оцінки. Опосередковане значення вагового коефіцієнта  $j$ -ї технічної характеристики в  $i$ -групі декомпозиції наведено у табл. 5.

Визначимо коефіцієнти технологічного рівня наведених зразків за такою методикою.

1. На основі табл. 3 сформуємо вектор-стовбець вагових коефіцієнтів груп декомпозицій:

$$\mathbf{w} = [w_1, \dots, w_m, \dots, w_M]^T, \sum_{m=1}^M w_m = 1, \quad (1)$$

де  $M$  – кількість груп декомпозицій.

Визначимо коефіцієнти технологічного рівня наведених зразків за наступною методикою.

2. На основі табл. 5 для кожної  $m$ -ї групи декомпозиції сформуємо матрицю показників  $\mathbf{A}^m$  розмірністю  $I_m \times K$ :

$$\mathbf{A}^m = \begin{pmatrix} a_{1,1}^m & \dots & a_{1,k}^m & \dots & a_{1,K}^m \\ \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ a_{i,1}^m & \dots & a_{i,k}^m & \dots & a_{i,K}^m \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{I_m,1}^m & \dots & a_{I_m,k}^m & \dots & a_{I_m,K}^m \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де  $a_{i,k}^m$  –  $i$ -й параметр  $k$ -го зразка ОБТ в межах  $m$ -ї групи декомпозиції, при цьому параметр  $a_{i,k}^m$  з матриці  $\mathbf{A}^m$  (2) повинен бути таким, що більше значення відповідає кращому параметру; якщо параметр  $a_{i,k}^{m*}$  взятий з табл. 5, навпаки, є таким, що менше значення відповідає кращо-

му варіанту, тоді до матриці  $\mathbf{A}^m$  (2) параметр  $a_{i,k}^m$  потрібно записати у вигляді  $a_{i,k}^m = 1/a_{i,k}^{m*}$ ;  $a_{i,K}^m$  – значення  $i$ -го параметра еталонного (найкращого) зразка, який може бути створений на основі тих технологій, які є доступними на даний час;  $I_m$  – кількість параметрів, за якими здійснюється оцінка аналогів ОБТ в межах  $m$ -ї групи декомпозиції,  $i = 1, \dots, I_m$ ;  $K - 1$  – кількість зразків-аналогів, які оцінюються,  $k = 1, \dots, K$ .

3. На основі табл. 5 сформуємо вектори-стовбці вагових коефіцієнтів для кожної групи декомпозицій:

$$\mathbf{w}^m = [w_1^m, \dots, w_i^m, \dots, w_{I_m}^m]^T, \sum_{i=1}^{I_m} w_i^m = 1. \quad (3)$$

4. Для кожної групи декомпозиції обчислюється вектор-рядок  $\mathbf{Q}^m$  коефіцієнтів технологічного рівня зразків:

$$\mathbf{Q}^m = [q_1^m, \dots, q_k^m, \dots, q_K^m], q_k^m = \sum_i w_i^m \left( \frac{a_{i,k}^m}{a_{i,K}^m} \right); \quad (4)$$

$$w_i^m \in \mathbf{w}^m; a_{i,k}^m \in \mathbf{A}^m.$$

5. На основі векторів  $\mathbf{Q}^m$  обчислюється вектор-рядок  $\mathbf{Q}$  коефіцієнтів технологічного рівня зразків:

$$\mathbf{Q} = [q_1, \dots, q_k, \dots, q_K], q_k = \sum_m w_m \cdot q_k^m; \quad (5)$$

$$w_m \in \mathbf{w}, q_k^m \in \mathbf{Q}^m.$$

Розрахунок коефіцієнтів технологічного рівня зразків-аналогів здійснювався за формулою (5) наведеної вище

методики аналізу технологічного рівня зразків ОВТ. Аналіз результатів розрахунків з числовими значеннями коефіцієнтів технологічних рівнів зразків дозволяє провести порівняльну оцінку досліджуваних зразків. Кращі за сукупністю показників зразки ОВТ мають більші значення коефіцієнта технологічного рівня (КТР), який визначається відносно еталонного (віртуального) зразка (ЕЗ), у якого  $КТР_{ЕЗ} = 1.0$ . Для аналізу причин відставання технологічного рівня окремих зразків з вибірки, а відповідно й пошуку можливих шляхів удосконалення зразків, на рис. 1 приведено гістограму КТР зразків з деталізацією їх складових за групами декомпозиції, які розраховуються за формулою (4). Відносний внесок складових коефіцієнта технологічного рівня за трьома групами декомпозиції показано цифрами 1, 2 і 3 відповідно.

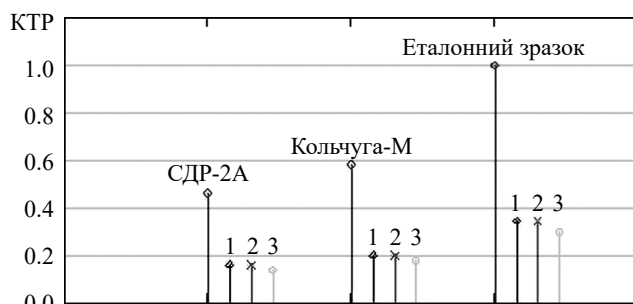


Рис. 1. Коефіцієнти технологічного рівня зразків з деталізацією їх складових за групами декомпозиції

## ВИСНОВКИ

1. У світі для оцінки якості технологій, які застосовуються для забезпечення оборонних та інших важливих потреб держави, застосовується певна методологія, що заснована на так званих рівнях готовності технологій.

2. Існує суттєва різниця між двома поняттями, які застосовуються у сфері розробки та створення ОВТ та є визначальними: «технічний рівень» та «технологічний рівень».

3. Розроблена у роботі методика дозволяє адекватно оцінювати технологічний рівень зразків техніки РЕБ та РЕР, про що свідчить наведений приклад застосування розробленої методики для оцінки технологічного рівня двох зразків-аналогів станцій РЕР оперативного рівня.

4. Узагальнюючий підхід, використаний в ході розробки методики, дозволяє застосовувати наведену методику для оцінки технологічного рівня зразків радіоелектронної техніки різного функціонального призначення.

5. Оцінка технологічного рівня зразка ОВТ потребує значно більшої інформації про зразок, ніж оцінка його технічного рівня.

6. Методика оцінки технологічного рівня поряд із методикою оцінки технічного рівня зразків озброєння та військової техніки має застосовуватись у ході науково-технічного супроводження дослідно-конструкторських робіт.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Чепков І.Б., Нор П.І. Загальні тенденції розвитку озброєння та військової техніки. *Озброєння та військова техніка*. 2014. № 1(1). С. 4–13.

2. Степшин М.П., Аниконов А.Н. Развитие вооружения, военной и специальной техники и их влияние на характер будущих войн. *Военная мысль*. 2021. № 12. С. 35–43.
3. Селиванов В.В., Ильин Ю.Д. Тенденции развития средств вооруженной борьбы в современных военных конфликтах, их влияние на развитие и смену поколений вооружения, военной и специальной техники. *Военная мысль*. 2022. № 9. С. 29–44.
4. Попов А.О., Твердохлибов В.В. Загальні тенденції розвитку засобів радіоелектронної боротьби. *Озброєння та військова техніка*. 2014. № 4(4). С. 4–10.
5. Sadowski, J. (2015). *Office of Technology Assessment: History, implementation, and participatory critique. Technology in Society*. № 42. Pp. 17–19.
6. Sinozic-Martinez, T., Weinberger, N. & Hahn, J. Post-normal crises and technology assessment. *J. for Technology Assessment in Theory and Practice*. 2023. № 2. Pp. 11–16.
7. High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies. *Final Report*. 2011.
8. Grunwald, A. *Technology assessment in practice and theory*. N.Y.: Routledge. 2018.
9. Середкина Е.В. Оценка технологий: история становления, эволюция, новые вызовы. *Социально-гуманитарные знания*. 2021. № 4. С. 202–211.
10. Сумина О.Н., Ткачук Ю.Я. Развитие рынка технологических инноваций в Украине в процессе интернационализации науки и технологии. *Маркетинг і менеджмент інновацій*. 2011. № 2. С. 139–144.
11. Heder, M. (2017). From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation. *The Innovation J*. № 22. Pp. 1–23.
12. *Technology Readiness Levels. Handbook for Space Applications*. ESA. 2008. 66 p.
13. Department of Homeland Security Science and Technology Readiness Level Calculator. *Final Report and User's Manual*. Homeland Security Inst. 2009.
14. *Defense Acquisition Guidebook*. 2021. 1248 p. Available at: <https://dag.dau.mil>.
15. Сагиева Г.С. Технологический уровень производства российских организаций. *Экономика, Статистика и Информатика*. 2015. № 5. С. 72–77.
16. Жердев С.С. Универсальная оценка уровня технологичности предприятий. *Фундаментальные исследования*. 2017. № 10 (2). С. 344–350.
17. Онешко С.В. Методика оцінки технологічного рівня промислової продукції з використанням додаткових критеріїв. *Економіка та держава*. 2021. № 10. С. 53–58.
18. Нор П.І., Щипанський П.В., Гогоянец С.І. Методика оцінки технічного рівня зразків озброєння та військової техніки. *Системи озброєння і військової техніки*. 2014. № 3. С. 49–54.
19. Семенов С.С., Харчев В.Н., Иоффин А.И. Оценка технического уровня образцов вооружения и военной техники. М.: Радио и связь. 2004. 552 с.
20. Писаренко Т., Кваша Т., Гаврис Т. Аналіз світових технологічних трендів у військовій сфері; за заг ред. Т. В. Писаренко. Київ: УкрІНТЕІ. 2021. 110 с.
21. *Словник термінів у військово-технічній сфері стосовно озброєння та військової техніки; під ред. І.Б. Чепкова*. Київ: Видавничий дім Дмитра Бурого. 2019. 693 с.

22. Гришин Ю.П., Ипатов В.П., Казаринов Ю.М. Радиотехнические системы. М. : Высш. шк. 1990. 496 с.
23. Wiley, R.G. ELINT: Interception and Analysis of Radar Signals. Artech House. 2006. 468 p.
24. Electronic Warfare and Radar Systems: Engineering Handbook. Naval Air Warfare Center Weapons Division. Point Mugu. CA. 2013. 456 p.
14. Defense Acquisition Guidebook. 2021. 1248 p. Available at: <https://dag.dau.mil>.
15. Sagiyeva, G.S. (2015) "Tekhnologicheskii uroven proizvodstva rossiiskikh organizatsii" [Technological level of russian organizations], Economics, Statistics and Computer Science. № 5. Pp. 72–77.
16. Zherdev, S.S. (2017). "Universalnaia otsenka urovnia tekhnologichnosti predpriatii" [Universal assessment of the level of technological effectiveness of enterprises], Fundamental Research. № 10(2). Pp. 344–350.
17. Oneshko, S.V. (2021) "Metodyka otsinky tekhnologichnoho rivnia promyslovoi produktsii z vykorystanniam dodatkovykh kryteriiv" [Methodology for evaluating the technological level of industrial products using additional criteria], Economy and the state. № 10. Pp. 53–58.
18. Nor, P.I., Shchypanskyi, P.V. & Hohoians, S.I. (2014). "Metodyka otsinky tekhnichnoho rivnia zrazkiv ozbroennia ta viiskovoi tekhniki" [Methodology for assessing the technical level of samples of weapons and military equipment], Armament systems and military equipment. № 3. Pp. 49–54.
19. Semenov, S.S., Kharchev, V.N. & Yoffyn, A.Y. (2004). "Otsenka tekhnicheskogo urovnia obraztsov vooruzheniia i voennoi tekhniki" [Assessment of the technical level of weapons and military equipment], Radio and communications. M. 552 p.
20. Pysarenko, T., Kvasha, T. & Havrys T. (2021). "Analiz svitovykh tekhnolohichnykh trendiv u viiskovii sferi" [Analysis of global technological trends in the military sphere], pid red. T.V. Pysarenko. K.: UkrINTEI. 110 p.
21. "Slovyk terminiv u viiskovo-tekhnichnii sferi stosovno ozbroieniia ta viiskovoi tekhniki" [Dictionary of terms in the military and technical sphere regarding weapons and military equipment], pid red. I.B. Chepkova. K.: Vydavnychi dim Dmytra Buraho. 2019. 693 p.
22. Hryshyn, Yu.P., Ypatov, V.P. & Kazarynov, Yu.M. "Radyotekhnicheskyye systemy" [Radio engineering systems], Higher shk., M. 1990. 496 p.
23. Wiley, R.G. ELINT: Interception and Analysis of Radar Signals. Artech House. 2006. 468 p.
24. Electronic Warfare and Radar Systems: Engineering Handbook. Naval Air Warfare Center Weapons Division. Point Mugu. CA. 2013. 456 p.

#### REFERENCES

1. Chepkov, I.B. & Nor, P.I. (2014) "Zahalni tendentsii rozvytku ozbroieniia ta viiskovoi tekhniki" [General trends in the development of weapons and military equipment], Weapons and Military Equipment. № 1(1). Pp. 4–13.
2. Stepshyn, M.P. & Anykonov, A.N. (2021) "Razvitie vooruzheniia, voennoi i spetsialnoi tekhniki i ikh vliianie na karakter buduschikh voiv" [The development of weapons, military and special equipment and their impact on the nature of future wars], Military thought. № 12. Pp. 35–43.
3. Selivanov, V.V. & Ilyin, Yu.D. (2022) "Tendentsii razvitiia sredstv vooruzhennoi borby v sovremennykh voennykh konfliktakh, ikh vliianie na razvitiie i smenu pokolenii vooruzheniia, voennoi i spetsialnoi tekhniki" [Trends in the development of means of armed struggle in modern military conflicts, their impact on the development and change of generations of weapons, military and special equipment], Military thought. № 9. Pp. 29–44.
4. Popov, A.A. & Tverdohlebov, V.V. (2014). "Zagalny tendentsii rozvytku zasobiv radioelektronnoi borotbu" [General trends in the development of means of electronic warfare], Weapons and Military Equipment. № 4(4). Pp. 4–10.
5. Sadowski, J. (2015). Office of Technology Assessment: History, implementation and participatory critique. Technology in Society. № 42. Pp. 17–19.
6. Sinozic-Martinez, T., Weinberger, N., & Hahn, J. (2023). Post-normal crises and technology assessment. J. for Technology Assessment in Theory and Practice. № 2. Pp. 11–16.
7. High-Level Expert Group on Key Enabling Technologies. Final Report. 2011.
8. Grunwald, A. Technology assessment in practice and theory. N.Y.: Routledge. 2018.
9. Seredkina, Ye.V. (2021) "Otsenka tekhnologii: istoriia stanovleniia, evoliutsiia, novye vyzovy" [Technology assessment: history of formation, evolution, new challenges], Social and humanitarian knowledge. № 4. Pp. 202–211.
10. Sumina, O.N. & Tkachuk, Yu.Ya. (2011) "Razvitie rynku tekhnologicheskikh innovatsii v Ukraini v protsesse internatsionalizatsii nauki i tekhnolohii" [Development of the technological innovation market in Ukraine in the process of internationalization of science and technology], Marketing and innovation management. № 2. Pp. 139–144.
11. Heder, M. (2017). From NASA to EU: the evolution of the TRL scale in Public Sector Innovation. The Innovation J. № 22. Pp. 1–23.
12. Technology Readiness Levels. Handbook for Space Applications. ESA. 2008. 66 p.
13. Department of Homeland Security Science and Technology Readiness Level Calculator. Final Report and User's Manual. Homeland Security Inst. 2009.

**Zibin S.D., Popov A.O., Tverdohlebov V.V., Biloborodova L.V.**

#### TECHNOLOGY LEVEL ASSESSMENT WITH RESPECT TO ELECTRONIC WARFARE AND ELECTRONIC INTELLIGENCE SYSTEMS

*We establish the difference between two notions that are used within the sphere of developing and creating defense systems and are determining: «technical level» and «technology level». We consider the main features of methodology that is based on so called Technology Readiness Levels (TRL) and is widely used in all over the world for technology quality assessment and is also exploited to satisfy the defense and others needs of a state.*

*The methodic of technology level assessment with respect to electronic warfare (EW) and electronic intelligence (ELINT) systems has been developed. It is shown that to evaluate technology level of EW and ELINT systems the methodic must determine a typical content of decomposition group of parameters that stipulate this level, so that this decomposition group content can be used for technology level assessment with respect to other electronic systems of various functionality, namely, for the majority of communication and information transmitting systems, both radar and navigation systems and also control systems. The list of specification for every decomposition group has been determined that is necessary for technology level assessment with respect to EW and ELINT systems, namely, for calculating technology level coefficients of such the types of defense systems. As an example, we perform a comparative analysis of technology level for two ELINT systems of strategic level and also we establish main technical specification for perspective ELINT system.*

*We claim that the developed technology level assessment methodic together with technical level assessment with respect to defense systems of various functionality has to be used within the framework of scientific-technical accompaniment of development projects.*

**Keywords:** *technology, technical level of a system, technology level of a system, technology level assessment, Technology Readiness Levels, electronic warfare systems, electronic intelligence system, specimen-analogue, technology level coefficient, decomposition group.*

#### **Відомості про авторів:**

##### **Зібін Сергій Данилович**

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>

##### **Попов Андрій Олексійович**

кандидат технічних наук, доцент  
провідний науковий співробітник  
Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-8560-617X>

##### **Твердохлібов Володимир Віталійович**

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
начальник науково-дослідного управління  
Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-6802-9796>

##### **Білобородова Любов Володимирівна**

молодший науковий співробітник  
Центральний науково-дослідний інститут озброєння  
та військової техніки Збройних Сил України  
м. Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-0335-240X>

#### **Information about the authors:**

##### **Zibin Sergey**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Researcher  
Central Scientific Research Institute of Armament and  
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-9426-2380>

##### **Popov Andrey**

Candidate of Technical Sciences  
Leading Researcher  
Central Scientific Research Institute of Armament and  
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8560-617X>

##### **Tverdochlebov Volodymyr**

Candidate of Technical Sciences  
Senior Researcher  
Chief of Scientific Research Management of Central  
Scientific Research Institute of Armament and Military  
Equipment of Armed Forces of Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-6802-9796>

##### **Biloborodova Lubov**

Junior Researcher  
Central Scientific Research Institute of Armament and  
Military Equipment of Armed Forces of Ukraine  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-0335-240X>

*Стаття надійшла до редколегії 09.04.2024.*