

УДК 623.4+519.852

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.33.2025.55-67>

О. Серпухов¹, О. Макогон^{1*}, М. Васильєв¹, С. Піскун¹, О. Марченко², О. Лавруг²,
Б. Матушко², М. Чорний²

¹Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, Харків

²Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ АДАПТАЦІЇ СИСТЕМИ АМАР-ADS ДЛЯ ЗРАЗКІВ БТОТ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ПЕРЕВІРКИ СТАТИСТИЧНИХ ГІПОТЕЗ

Стаття присвячена обґрунтуванню технологічних рішень щодо адаптації системи активного захисту АМАР-ADS для використання на зразках ОВТ, що є на озброєнні ЗС України. За рахунок використання математичного апарату перевірки статистичних гіпотез вдалося отримати підхід щодо підбору оптимального набору елементів САЗ АМАР-ADS із гнучкими (SMART) налаштуваннями для мінімізації ймовірності хибного спрацювання давачів шляхом їх диференційованого спрацювання при забезпеченні достатнього рівня завадостійкості.

Дослідження дало змогу отримати наступні результати: 1. Час спрацювання давачів і, відповідно, порогові значення напруги, за яких спрацьовують виконавчі елементи системи захисту АМАР-ADS, визначені як випадкові величини, що дало підґрунтя для використання математичного апарату перевірки багатоальтернативних статистичних гіпотез для розв’язання задачі прийняття рішення на спрацювання давачів та уникнення “дружнього” (за рахунок роботи своїх засобів РЕБ) придушення САЗ. 2. На основі аналізу математичних розрахунків запропонований можливий склад перспективної адаптованої системи активного захисту основних зразків озброєння та військової техніки. 3. Проведена оцінка прогнозованого ефекту від реалізації технічних рішень щодо адаптації САЗ АМАР-ADS до використання її на зразках ОВТ, що є на озброєнні ЗС України, за рахунок мінімізації ймовірності хибного спрацювання давачів при забезпеченні достатнього рівня надійності (пропуску удару) та завадостійкості (впливу “дружнього” придушення).

Ключові слова: система активного захисту бронеоб’єктів, адаптація, диференційоване виявлення загрози, перевірка статистичних гіпотез, лінійне програмування, помилка першого та другого роду.

Постановка проблеми

Досвід більш ніж десятирічної російсько-Української війни свідчить, що ефективна захищеність особового складу є запорукою успішного виконання бойових завдань, і, як наслідок, збереження життя і здоров’я військовослужбовців. Як один із ефективних методів захисту ОВТ (танків, ББМ, БТР тощо) зарекомендували себе системи активного захисту [1]. Вони здатні зберегти екіпаж за рахунок виявлення та нейтралізації різноманітних загроз.

Система активного захисту (САЗ) АМАР-ADS (Advanced Modular Armor Protection Active Defense System) є високотехнологічним продуктом, придатним для визначення різних загроз безпосередньо у ближній зоні машини, а також для аналізу загрози та для її відображення ефективними заходами, які забезпечують виведення з ладу матеріальної частини з високим ступенем надійності. Вона поєднує в собі методи обробки великих обсягів даних, використання сенсорних технологій, математичні методи аналізу, а також автоматизацію прийняття рішень.

Article history: Income 23 July 2025; Revised 01 September 2025; Accepted 09 September 2025; Print 05 December 2025

Серпухов О.В. ORCID ID: 0000-0002-5029-1016, Макогон О.А. ORCID ID: 0000-0003-1112-8707,
Васильєв М.І. ORCID ID: 0000-0003-4635-9257, Піскун С.В. ORCID ID: 0000-0003-1039-8422,
Марченко О.В. ORCID ID: 0000-0003-3718-263X, Лавруг О.О. ORCID ID: 0000-0002-4909-6723,
Матушко Б.П. ORCID ID: 0000-0002-9942-2080, Чорний М.В. ORCID ID: 0000-0001-6024-9340

* Corresponding author helmq@ukr.net

© Серпухов О.В., Макогон О.А., Васильєв М.І., Піскун С.В., Марченко О.В., Лавруг О.О., Матушко Б.П., Чорний М.В.

ISSN (Online): 2708-5228 / ISSN (Print): 2312-4458

Ліцензія відкритого доступу / Open print license

Завдяки модульній конструкції ADS може бути адаптована до широкого спектра зразків бронетанкового озброєння та військової техніки і здатна захистити техніку від великокаліберної зброї, яку не зупинить легка броня [2 – 5].

Між тим у системі AMAP-ADS не передбачені SMART-технології, зокрема виявлення і розпізнання піхоти, яка знаходиться у зоні контролю. Безумовно, надлишкове використання захисту підвищує його надійність, але не є оптимальним з точки зору ресурсозатратності.

Ефективне використання AMAP-ADS на різноманітних зразках ОБТ, у т.ч. тих, що є на озброєнні ЗСУ, можливо при диференційованому спрацюванні давачів. Однак, такий підхід вимагає розроблення алгоритму дій, який би мінімізував ймовірність хибного спрацювання давачів при забезпеченні достатнього рівня надійності (пропуску удару) та завадостійкості (“дружнього”, за рахунок роботи своїх засобів РЕБ, придушення), що свідчить про актуальність дослідження.

Метою дослідження є обґрунтування технічних рішень щодо адаптації (підбору оптимального набору елементів) системи активного захисту AMAP-ADS для ефективного використання на зразках ОБТ, що є на озброєнні ЗСУ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

САЗ AMAP-ADS розроблена німецькою компанією ADS Gesellschaft für aktive Schutzsysteme, дочірньою компанією Rheinmetall і IBD Deisenroth Engineering в рамках концепції Advanced Modular Armor Protection. Система також відома під назвою AAC (Active Armor Concept) у Швеції та як Shark у Франції.

У 2019 році була представлена нова версія ADS, відома як Hybrid Protection Module, яка інтегрує компоненти системи активного захисту в пасивну рознесену броню. Він продається на міжнародному ринку під назвою Strike Shield.

AMAP-ADS має переваги перед аналогами (Quick Kill, Iron Fist або Trophy), оскільки діє швидше та створює нефрагментований потік матеріалу. В цьому випадку є можливість мінімізувати побічний збиток військам або цивільним особам, які знаходяться поблизу. Ці обставини є важливим аспектом при веденні бойових дій в міському середовищі, але для їх реалізації передумовлене вдосконалення механізму прийняття рішення про спрацювання системи. Розташування давачів і засобів протидії забезпечує напівсферичний захист [2-5]. Перекриття секторів модулів давач-протидія дозволяє системі перемагати атаки з кількох напрямів. У порівнянні з іншими системами жорсткого знищення тут немає рухомих

частин, що робить ADS легким за вагою і зменшує потреби в електроенергії. У існуючому варіанті система не призначена для повної заміни пасивної броні, оскільки снаряди більшого калібру будуть лише роздроблені, а не повністю відхилені, і для поглинання залишкової енергії осколків потрібна пасивна броня.

За даними розробника, комплекс AMAP-ADS здатний уражати кумулятивні боєприпаси засобів ближнього бою типу РПГ-7, ПТУР, а також бронебійні підкаліберні снаряди протитанкової зброї.

Конструкція комплексу є модульною і може бути адаптована практично до широкого спектра транспортних засобів, її маса – 140 кг для легкових автомобілів і до 500 кг для важких машин (рис. 1).

Водночас згідно з заявою Ульфа Дайзенрота Ulf Deisenroth, президента та генерального директора компанії IBD Deisenroth Engineering, слід враховувати, що “...навіть високоефективний комплекс активного захисту (КАЗ) широкого спектра дії завжди має “спиратися” на значну масу пасивного захисту, яка залежить від вагової категорії машини. Наприклад, в даний час можна говорити, що для ББМ легкої вагової категорії, оснащених КАЗ від ураження кумулятивними засобами ближнього бою та легень ПТУР, рівень 4 STANAG 4569 є мінімально необхідним” [6, 14].



Рис. 1. CV90120, оснащений AMAP-ADS

Відповідно, до захисту машин середньої категорії висуваються більш високі вимоги, включаючи вимоги щодо захисту від імпровізованих вибухових пристроїв певного типу та інших засобів ураження, вимоги, які можна виконати виключно за рахунок збільшення маси пасивної броні.

Основним недоліком САЗ AMAP-ADS є частковий захист проекції бойової машини – тільки на поверхні, розташованій нижче лінії кріплення блоків вибухової речовини. Крім того, спрацювання будь-якого блока повністю знімає захист із площі поверхні, над якою він був закріплений.

Аналіз переваг та недоліків розглянутих реалізацій активного захисту зразків ОВТ дає змогу зробити висновок про доцільність розробки методики їх компонування для підвищення ефективності використання.

Порівняємо з САЗ АМАР-ADS системи активного захисту кінетичного впливу вітчизняного виробництва, такі як “Заслон”, “Бастіон”, “Шершень”. Як переваги зразків САЗ українського виробництва визначасмо те, що вони створюють зону захисту до 5 м від пострілів РПГ, ПТКР, артснарядів до 125 мм навколо ОВТ.

Як основні недоліки комплексів визначимо такі:

- нездатність захищати ОВТ від загроз з верхньої півсфери;
- можливість спрацювання динамічного захисту;
- загроза при спільній дії з власною піхотою;
- схильність до хибних спрацювань;
- значна вага комплексу при недостатній кількості контрбоєприпасів [7].

Зокрема, комплекс активного захисту “Заслон” при установці на танк складається з пульта керування в башті, а також модулів захисту, в кожному з яких знаходиться по два боєприпаси з уражаючими елементами. На танку розміщується кілька таких модулів, при цьому чотири з них розміщуються на надгусеничних нішах танка, що забезпечує прихованість такої установки. У самому боєприпасі, окрім уражаючих елементів, також знаходиться радар виявлення цілі, що працює в міліметровому діапазоні. А в самому броньованому корпусі модуля, що забезпечує захист блока КАЗ від куль стрілецької зброї і осколків, знаходиться і висувний пристрій. Його електродвигуни висувають боєприпаси з похідного в бойове положення після приведення системи в робочий режим екіпажем танка.

На думку експертів [7-9], “виконавчі” елементи САЗ є більш надійнішими у порівнянні з їх аналогами. У якості порівняльного прикладу пропонується розглянути протидронову сіткометну систему НВП “Валлар”, яка класифікується як активний захист кінетичного впливу ближньої дії [8].

Як переваги протидронової сіткометної системи для активного захисту визначимо такі:

- невисока вартість протидронових сіток;
- доцільно встановлювати на неброньовані зразки ОВТ;
- не несе загрозу при використанні на ОВТ спільно з власною піхотою.

Як недоліки визначимо здатність перехоплювати лише FPV-дрони в горизонтальному польоті на висоті до 5 м над зразком ОВТ.

Як приклад реалізації підсистеми виявлення, ідентифікації та цілевказівки у складі САЗ наведемо такі елементи:

- радіолокаційна станція міліметрового діапазону або лазерна станція типу “ЛДАР”;
- оптоелектронні та радіолокаційні давачі виявлення, ідентифікації та цілевказання;
- бортова обчислювальна підсистема;
- підсистема відображення та передавання інформації.

Як приклад реалізації підсистеми некінетичного впливу можна розглянути такі елементи:

- засоби радіоелектронного придушення в різних частотах, що сумісне з обладнанням ОВТ;
- обладнання для постановки інфрачервоних та лазерних перешкод, знищення електромагнітною або променевою зброєю;
- димові/аерозольні гранати;
- обладнання для зменшення помітності ОВТ в оптичному та тепловому спектрі.

Таким чином, для адаптації САЗ АМАР-ADS до використання його на вітчизняних зразках ОВТ необхідно вирішити завдання визначення оптимального набору елементів підсистеми кінетичного впливу та підсистеми управління із гнучкими (SMART) налаштуваннями для мінімізації ймовірності хибного спрацювання давачів шляхом їх диференційованого спрацювання при забезпеченні достатнього рівня завадостійкості (шкоди “дружнього” придушення).

Виклад основного матеріалу

Структура та основні функції САЗ АМАР-ADS

Традиційно у складі САЗ можна виділити підсистему кінетичного впливу, до якої відносяться такі елементи:

- реактивні гранати (контрбоєприпаси);
- дистанційні артилерійські (кулеметні, гранатометні, гарматні) модулі;
- сіткометні заряди;
- контрбоєприпаси, що встановлюються по периметру корпусу ОВТ.

Зазначимо, що саме варіативним набором цих модулів можуть бути оснащені різні зразки ОВТ, що є на озброєнні ЗС України.

Між тим, оскільки система АМАР-ADS призначена для автоматизованого керування засобами ППО, вона може працювати у взаємодії з модулями підсистеми управління та/або підсистеми виявлення, ідентифікації та цілевказання [7]:

- виявлення і слідування, що виконує функції інтеграції з РЛС, оптичними та інфрачервоними давачами; виявлення, класифікація та супроводження цілей;

- обробка даних і аналіз загроз, що виконує функції оцінки типу загрози, пріоритезація цілей та прогноз траєкторій руху об'єктів;

- управління вогнем з функцією розподілення цілей за вогневими засобами; синхронізація роботи різних установ ППО; автоматизація наведення і пуску ракети;

- інтерфейс оператора із панеллю ситуаційної обізнаності, інтерактивними картами та візуалізацією повітряної обстановки та функцією управління в ручному та автоматичному режимах;

- зв'язка та обмін даними з функцією інтеграції з єдиною системою ППО, шифрований обмін інформацією та зв'язок із зовнішніми командними пунктами та союзними силами;

- симуляція та навчання з функцією створення віртуальних сценаріїв для тренування операторів, аналіз ефективності дій ППО;

- самодіагностика та моніторинг стану системи з функцією контролю працездатності устаткування та автоматичного повідомлення про помилки або несправності.

Як прототип може бути розглянуті СІЗ "Strike Shield", основні ТТХ якої проаналізовані вище, та ADS-Gen3, що використовує новіші радарні давачі, що працюють із меншою потужністю; це зменшує радіус дії радару лише до 30 метрів (98 футів) і призводить до того, що ADS-Gen3 має значно меншу електромагнітну сигнатуру, ніж інші APS з жорстким ураженням. Радарні давачі працюють у діапазоні хвиль від 20 до 30 ГГц і мають вихідну потужність лише 1 Вт. Це призводить до того, що давачі ESM противника можуть виявити ADS-Gen3 лише на відстані до 350 – 400 метрів.

Менший радіус дії радарів також означає, що можна досягти вищої роздільної здатності, дозволяючи системі точніше визначати тип вхідних снарядів і реагувати на ступінчасті атаки систем зброї, такі як РПГ-30. Нижча сигнатура ЕМ зменшує ймовірність збоїв в роботі електроніки транспортних засобів, що знаходяться поблизу [15, 16].

Фактори, що впливають на відстань виявлення загрози

Визначимо, що основними факторами, що впливають на відстань виявлення загрози у системі АМАР-АДС, є швидкість цілі, розмір та ефективна площа розсіювання, траєкторія польоту та тип давача.

Розглянемо основні тактико-технічні характеристики об'єктів, які система АМАР-АДС розпізнає як загрозу.

Протитанкові керовані ракети (ПТКР) мають відносно низьку швидкість (200 – 300 м/с) і великі габарити, що робить їх легшими для виявлення.

Відстань розпізнавання такої загрози радарними давачами становить 100 – 300 м; оптико-електронними

давачами – 50 – 150 м; інфрачервоними давачами – до 100 м. Як особливість при роботі АМАР-АДС є той факт, що завдяки стабільній траєкторії ПТКР часто є основними цілями для систем КАЗ.

Кумулятивні снаряди (з РПГ або гранатометів) мають високошвидкісний старт і відносно малий розмір, а їх розпізнавання складніше через обмежений час на реакцію. Відстань розпізнавання такої загрози: радарними давачами становить 30 – 100 м; оптико-електронними давачами – 20 – 70 м; інфрачервоними давачами – 20–50 м. Особливістю є той факт, що кумулятивні снаряди (з РПГ або гранатометів) зазвичай використовуються на близьких відстанях (до 500 м), що вимагає швидкодіючих сенсорів і систем знищення.

Танкові снаряди (кінетичні підкаліберні боеприпаси) мають дуже високу швидкість (понад 1500 – 1700 м/с), мінімальний розмір і тепловий слід, що ускладнює виявлення. Відстань розпізнавання такої загрози радарними давачами становить 10 – 50 м; оптико-електронними давачами – 10 – 30 м. Особливість і успішне перехоплення цих снарядів є викликом для САЗ, тому більшість систем фокусуються на м'якших загрозах.

Броньбійні осколкові боеприпаси мають менші розміри, ніж ПТКР, але більші, ніж кінетичні боеприпаси. Зазвичай рухаються зі швидкістю 800 – 1000 м/с. Відстань розпізнавання такої загрози радарними давачами становить 50 – 150 м; оптико-електронними давачами – 30 – 100 м. Особливістю виявлення загрози від бронебійних осколкових боеприпасів є те, що вони можуть бути складними для виявлення через нестабільну траєкторію.

Безпілотні літальні апарати (БпЛА) мають великі габарити, низьку швидкість (50 – 150 м/с), чіткий тепловий і радіолокаційний слід. Відстань розпізнавання такої загрози радарними давачами становить 200 – 500 м; оптико-електронними давачами – 150 – 300 м; інфрачервоними давачами – 100 – 250 м. Як особливість зазначимо, що БпЛА можуть бути використані як носії боеприпасів, тому їх виявлення є важливим завданням для сучасних САЗ [7, 8].

Швидкість цілі – чим більш швидший боеприпас, тим менше часу на його виявлення та перехоплення. Наприклад, АРФСДС-снаряди виявляються на мінімальних відстанях через надзвукову швидкість.

Розмір та ефективна площа розсіювання (ЕРР) – великі об'єкти (дрони, ПТКР) виявляються раніше за часом через більший радіолокаційний слід. Малі снаряди (підкаліберні бронебійні) вважаються складнішими для виявлення.

Траєкторія польоту – прямолінійні траєкторії складніші для виявлення, ніж повільні параболічні.

Тип давача – радар ефективний для швидкісних цілей на середніх і далеких відстанях; оптико-електронний давач краще працює на ближчих відстанях; інфрачервоний давач добре виявляє теплові сліди від двигунів ПТКР або дронів.

Отже, великі повільні цілі (ПТКР, дрони) виявляються на відстанях 100 – 300 м; середні, середньошвидкісні цілі (РПГ, мінометні міни) виявляються на 50 – 150 м; малі швидкісні цілі (підкаліберні снаряди) виявляються на 10 – 50 м (рис. 2).



Рис. 2. Можливі засоби ураження озброєння та військової техніки

Як і інші сучасні САЗ (Trophy (Ізраїль), Iron Fist (Ізраїль) та Афганіт (рф) AMAP-ADS має багатоканальні системи давачів, що дозволяють працювати з різними типами загроз на різних відстанях, але ймовірність прийняття хибного рішення внаслідок “накладання” характеристик об’єктів загрози є високою [11, 12].

Узагальнююча інформація про об’єкти загрози у системі AMAP-ADS наведена у табл. 1 та 2.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця відстаней розпізнавання об’єктів загрози у системі AMAP-ADS (м)

Тип боєприпасу	Тип давача/відстань (м)		
	Радарні	Оптико-електронні	Інфрачервоні
Протитанкові ракети (ПТКР)	100–300	50–150	до 100
Кумулятивні снаряди	30–100	20–70	20–50
Танкові снаряди	10–50	10–30	до 20
Броньовані боєприпаси	50–150	30–100	20–80
БПЛА	200–500	150–300	100–250

Для ефективного розпізнавання об’єкта загрози та унеможливлення прийняття хибного рішення щодо спрацювання виконавчих механізмів системи AMAP-ADS пропонується скористатися математичним апаратом теорії перевірки статистичних гіпотез [13].

Таблиця 2

Характеристики розпізнавання боєприпасів різними давачами САЗ

Тип боєприпасу	Відстань розпізнавання (м)	Особливості виявлення
Протитанкові керовані ракети (ПТКР)	100-300	Великі розміри, середня швидкість (200-400 м/с)
Реактивні гранати (РПГ)	50-150	Менші розміри, низька швидкість (100-300 м/с)
Кумулятивний снаряд (з гармати)	30-100	Висока швидкість (800-1000 м/с), складність виявлення
Підкаліберний броньовий снаряд (APFSDS)	10-50	Дуже висока швидкість (1500-1800 м/с), мінімальний час на реакцію
Дрон-“камікадзе”	100-300	Низька швидкість (50-200 м/с), можливість маневрування
Мінометна міна	30-150	Параболічна траєкторія, середня швидкість (100-300 м/с)

Робота давачів у системі AMAP-ADS

Система давачів, яка відповідає за протидію загрозі, відстежує, вимірює та визначає тип загрози. Усі дані передаються на центральний комп’ютер, який видає команду на запуск протиснаряда.

Комплекс AMAP-ADS складається з двоступінчастої системи давачів, в якій давач попередження сканує свій конкретний сектор щодо наявності будь-яких об’єктів, що наближаються, аж до 10 м, і в разі виявлення передає дані на другий давач.

Спеціальний детектор визначає, звідки ведеться вогонь, потім бортовий комп’ютер обчислює траєкторію польоту боєприпасу та дає команду пристрою, який знищує його на підльоті. AMAP-ADS вимагає лише 0,56 мс для всієї процедури захисту, починаючи від виявлення та повної ліквідації загрози.

В якості елемента, що виявляє загрозу та виробляє сигнал на спрацювання виконавчих елементів системи ADS, розглядаються набір з пасивних давачів інфрачервоного випромінювання дальнього радіуса дії, лазерні випромінювачі ближнього радіуса дії, захисні боєприпаси у вигляді нерухомих блоків вибухової речовини з металевим облицюванням заданого дроблення, закріплених під нахилом по периметру корпусу бойової машини і електронної апаратури керування.

Пасивні інфрачервоні давачі виявляють інфрачервоне випромінювання від об’єктів в полі зору або відбите від них. На відміну від активних давачів, PIR-сенсори не випромінюють енергію самі, а покладаються на виявлення наявного випромінювання.

Це робить їх енергоефективними та економічно вигідними рішеннями для виявлення руху. PIR-сенсори складаються з детектора та лінзи, яка фокусує інфрачервоне випромінювання на детекторі.

При цьому мікропроцесор виробляє сигнал, пропорційний кількості пікселів, які змінили колір (рис. 3). Динаміка руху формалізується у вигляді кількості пікселів, які змінили колір.

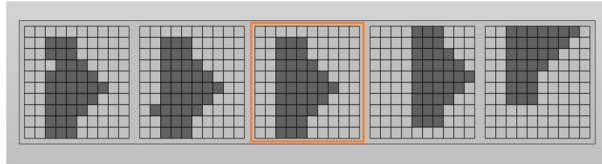


Рис. 3. Зміна кольору пікселів у пасивному інфрачервоному давачі при русі об'єкта загрози

Принцип дії лазерних випромінювачів заснований на здатності електромагнітного випромінювання поширюватися з постійної швидкістю і дає можливість визначати дальність до об'єкта. Так використовується наступне співвідношення

$$L = ct / 2, \quad (1)$$

де L – відстань до об'єкта, м;

c – швидкість поширення випромінювання, м/с;

t – час проходження імпульсу до цілі і в зворотному напрямі [9, 10].

Можна стверджувати, що час проходження імпульсу до цілі і назад у системі АМАР-АДС також є випадковою величиною і використання апарата математичної статистики для моделювання її роботи є обґрунтованим.

Математична модель роботи системи АМАР-АДС щодо прийняття рішення на спрацювання виконавчих елементів

Існує величезне різноманіття умов спрацювання давачів, розпізнання об'єкта загрози, дальність до нього і швидкість його руху тощо, що впливає на ефективність функціонування системи. АМАР-АДС передбачає розпізнання об'єкта загрози, дальність до нього і швидкість його руху. Таким чином, можна вважати випадковими величинами час спрацювання давачів і відповідно порогове значення напруги, за яким спрацювають виконавчі елементи системи захисту.

Виходячи з міркувань, що об'єкт загрози виявляється системою АМАР-АДС у два етапи, і на першому етапі спрацює інфрачервоний давач, то можна прийняти щільність ймовірності визначення відстані до будь-якого об'єкта загрози як $f(x_0) = N(m_0, \sigma_0)$ за статистичними даними спрацювання цього давача

(де x_0 – порогове значення відстані спрацювання інфрачервоного давача).

У цьому випадку ймовірність справдження гіпотези становитиме

$$P(x_0 / H_0) = \int_{x \in \bar{\Omega}} f(x_0) dx. \quad (2)$$

В даному випадку приймаємо, що $f(x_0) = N(125, 25)$.

Аналогічно, щільність ймовірності $f(y_1)$ спрацювання лазерного давача на вогонь РПГ та/або снарядів, що летять зі швидкістю до 2000 м/с, з урахуванням (1) та з метою уніфікації аргументів визначимо як $N(m_{y_1}, \sigma_{y_1}) = N(35, 1)$, де y – порогове значення відстані спрацювання лазерного давача.

Таким чином, щільність ймовірності виявлення загрози у вигляді вогню РПГ та/або снарядів, що летять зі швидкістю до 2000 м/с, становить

$$f(x_0, y_1) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x_0}\sigma_{y_1}\sqrt{1-r_{x_0,y_1}^2}} e^{-\left[\frac{(x_0-m_{x_0})^2}{\sigma_{x_0}^2} + \frac{2r_{x_0,y_1}(x_0-m_{x_0})(y_1-m_{y_1})}{\sigma_{x_0}\sigma_{y_1}} + \frac{(y_1-m_{y_1})^2}{\sigma_{y_1}^2}\right]} \quad (3)$$

$$f(x_0 / y_1) = \frac{f(x_0, y_1)}{f(y_1)},$$

де r_{x_0, y_1} – коефіцієнт кореляції величин x_0 та y_1 .

Природно припустити, що випадкові величини x_0 та y_1 мають додатний кореляційний зв'язок. За [17] припустимо, що $r_{x_0, y_1} = 0,78$.

$$f(x_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{x_0}} e^{-\left[\frac{(x_0-m_{x_0})^2}{\sigma_{x_0}^2}\right]}, \quad (4)$$

де σ_{x_0}, m_{x_0} – параметри закону розподілу випадкової величини x_0 , який вважатимемо нормальним.

$$f(y_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{y_1}} e^{-\left[\frac{(y_1-m_{y_1})^2}{\sigma_{y_1}^2}\right]}, \quad (5)$$

де σ_{y_1}, m_{y_1} – параметри закону розподілу та параметри закону випадкової величини y_1 , який вважатимемо нормальним.

Аналогічно, виявлення ПТУР розглядаємо як випадкову величину $f(x_0/y_2)$, умовну відносно x_0 та y_2 , де $f(y_2) = N(\sigma_{y_2}, m_{y_2})$:

$$f(y_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_{y_2}} e^{-\left[\frac{(y_2 - m_{y_2})^2}{\sigma_{y_2}^2}\right]}, \quad (6)$$

тобто

$$f(x_0, y_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x_0}\sigma_{y_2}\sqrt{1-r_{x_0,y_2}^2}} e^{-\left[\frac{(x_0 - m_{x_0})^2}{\sigma_{x_0}^2} - \frac{2r(x - m_{x_0})(y_2 - m_{y_2})}{\sigma_{x_0}\sigma_{y_2}} + \frac{(y_2 - m_{y_2})^2}{\sigma_{y_2}^2}\right]} \quad (7)$$

Приймаємо, що $N(m_{y_2}, \sigma_{y_2}) = N(30, 0.5)$, а $r_{x_0, y_2} = 0.69$.

Аналогічно загроза, спричинена виявленням кумулятивного заряду, буде обчислена як ймовірність випадкової величини

$$f(x_0, y_3) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x_0}\sigma_{y_3}\sqrt{1-r_{x_0,y_3}^2}} e^{-\left[\frac{(x_0 - m_{x_0})^2}{\sigma_{x_0}^2} - \frac{2r(x - m_{x_0})(y_3 - m_{y_3})}{\sigma_{x_0}\sigma_{y_3}} + \frac{(y_3 - m_{y_3})^2}{\sigma_{y_3}^2}\right]} \quad (8)$$

$$N(m_{y_3}, \sigma_{y_3}) = N(15, 1.5);$$

$$r_{x_0, y_3} = 0.78.$$

БпЛА та/або авіаційного боєприпасу

$$f(x_0, y_4) = \frac{1}{2\pi\sigma_{x_0}\sigma_{y_4}\sqrt{1-r_{x_0,y_4}^2}} e^{-\left[\frac{(x_0 - m_{x_0})^2}{\sigma_{x_0}^2} - \frac{2r(x - m_{x_0})(y_4 - m_{y_4})}{\sigma_{x_0}\sigma_{y_4}} + \frac{(y_4 - m_{y_4})^2}{\sigma_{y_4}^2}\right]} \quad (9)$$

$$r_{x_0, y_4} = 0.61.$$

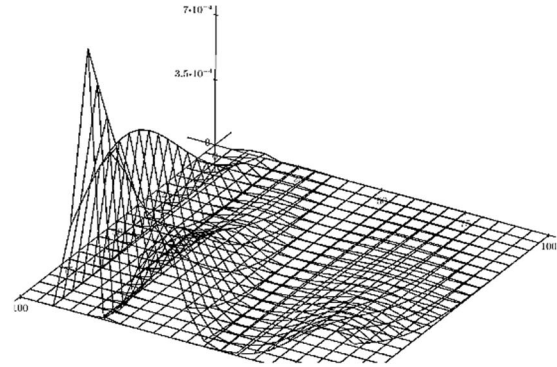
Графічно двовірні щільності ймовірності $f(x, y_i)$, $i = \overline{1,4}$ представлено на рис. 4.

Для визначення оптимального моменту прийняття рішення про запобігання удару – спрацювання давачів та виконавчих механізмів пропонуємо скористатися відомим апаратом теорії ймовірності та перевірки статистичних гіпотез.

Це припущення дозволить робити розрахунки за даними існуючої статистичної вибірки.

За класичною теорією перевірки статистичних гіпотез приймаємо:

H_0 – гіпотеза, яка полягає в тому, що відстань до об'єкта загрози безпечна і спрацювання системи активного захисту не потрібно.



$$f1(x, y1, 125, 40, 45, 8, 0.72)$$

$$f2(x, y2, 125, 40, 100, 16, 0.69)$$

$$f3(x, y3, 125, 40, 20, 3, 0.78)$$

$$f4(x, y4, 125, 40, 225, 25, 0.61)$$

Рис. 4. Двовірні щільності ймовірності об'єктів загрози у системі АМАР-АДС

Цю гіпотезу будемо перевіряти проти таких альтернатив:

H_1 – гіпотеза, яка полягає в тому, що об'єктом загрози є вогонь РПГ та/або наряди, що летять зі швидкістю до 2000 м/с;

H_2 – гіпотеза, яка полягає в тому, що об'єктом загрози є ПТУР;

H_3 – гіпотеза, яка полягає в тому, що об'єктом загрози є кумулятивний заряд іншого зразка БТОТ;

H_4 – гіпотеза, яка полягає в тому, що об'єктом загрози є авіаційний об'єкт, у т.ч. БпЛА.

Зауважимо, що використання методів прийняття статистичного рішення вимагає визначення основної гіпотези, вірність якої проти інших (альтернативних) і буде перевірятися.

В даній роботі вибір основної гіпотези здійснено із міркувань безперервного здійснення моніторингу за навколишнім середовищем на предмет виявлення загрози.

Тоді, за класичною теорією перевірки статистичних гіпотез приймаємо, що відстань до загрози $x \in \Omega$ є випадковою величиною із щільністю розподілу $f(x/H_0)$, $f(x, y_1/H_1)$, $f(x, y_2/H_2)$, $f(x, y_3/H_3)$, $f(x, y_4/H_4)$.

Звичайно, прийняття тієї чи іншої гіпотези може бути вірним чи помилковим. З урахуванням (3) – (9), ймовірність прийняття i -ї ($i = \overline{1, n}$) гіпотези обраховується як

$$P(x/H_i) = \int \int_{x, y_i} f(x, y_i) dx dy_i. \quad (10)$$

Апріорні ймовірності гіпотез вважаємо відомими $P(H_i)$, $i = \overline{1, n}$.

Завдання полягає у відшуванні правила, відповідно до якого на підставі спостережень приймається чи відхиляється гіпотеза H_0

Для спрощення ілюстрації механізму прийняття рішення щодо вірності тієї чи іншої гіпотези представимо їх на рис. 5 як одномірні [17].

За правилом Неймана – Пірсона [5] визначимо потужність критерію

$$M(x) = \sum_{i=1}^n \mu_i(x) = \sum_{i=1}^n \int P(H_i) f(x/H_i) dx. \quad (11)$$

Прийняття та відхилення гіпотез H_i , $i = \overline{1, n}$ супроводжується помилками.

Помилка першого роду (“хибна тривога”) виражається як

$$\alpha(x) = \int_{\Omega} P(H_0) f(x/H_0) dx. \quad (12)$$

Помилка другого роду (“невірне визначення загрози”)

$$B(x) = \sum_{i=1}^n \beta_i(x) = 1 - \sum_{i=1}^n \int P(H_i) f(x/H_i) dx. \quad (13)$$

В цьому випадку задача прийняття рішення на спрацювання давачів може бути сформульована як оптимізаційна задача прийняття рішення за критерієм максимальної потужності при фіксованій безумовній ймовірності помилки першого роду, тобто слід знайти порогове значення x^* , що максимізує вираз (11) за умови

$$\alpha(x) \leq \alpha_{зад} \quad (14)$$

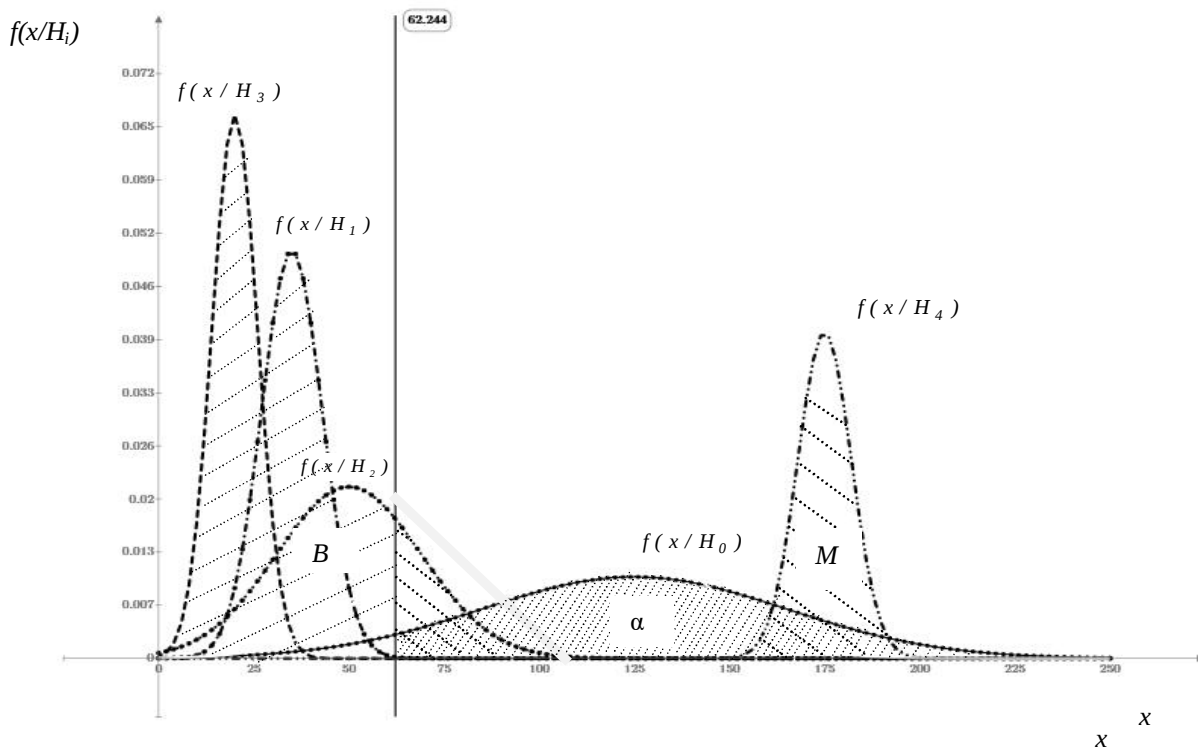


Рис. 5. Перевірка статистичних гіпотез виявлення загрози в системі АМАР-АДС

Шляхом дискретизації безперервної змінної x та заміни інтегралів відповідними інтегральними сумами задача може бути трансформована до класичної розподільної задачі транспортного типу, методи розв’язання якої відомі [18, 19].

Математичне формулювання задачі узгодження роботи елементів САЗ

Припустимо, що до роботи розглянутих елементів САЗ залучається РЛС, яка працює на частоті, близькій до частоти засобу РЕБ, який працює на позиції поряд в напрямку противника, і, відповідно, виникає задача уникнення “дружнього” придушення САЗ.

В термінології задачі перевірки статистичних гіпотез пропонується додати гіпотезу $H_{РЕБ}$, яка полягатиме в тому, що РЕБ працює на частоті, яка є випадковою величиною, підкорену нормальному закону з визначеними параметрами. Для прийняття рішення на спрацювання виконавчих елементів САЗ обмеження (14) буде визначено виразом

$$\alpha_{зад} = 1 - \int_{\Omega} P(H_0) f(x/H_{РЛС}) dx, \quad (15)$$

де $f(x/H_{РЛС})$ – щільність ймовірності роботи РЛС, частота роботи якої є випадковою величиною, що підкорена нормальному закону с параметрами

$N(m_{PLC}, \sigma_{PLC})$. Значення m_{PEB}, σ_{PEB} можна визначити за результатами статистичної обробки спостережень роботи РЛС.

За аналогією можна розглянути роботу декількох РЛС та РЕБ. Тоді до математичної моделі буде додана задача перевірки багатоальтернативних статистичних гіпотез [20].

Ілюстративно врахування обмежень щодо ймовірності “дружнього” придушення САЗ зображено на рис. 6. Безпосередній розрахунок сформульованої за (1) – (15) задачі можливо провести за допомогою вбудованих в ПК офісних застосунків та онлайн калькулятора [21].

Ймовірність помилки другого роду може бути інтерпретовано як визначення порогового значення виявлення загрози за умови мінімізації ймовірності “дружнього” придушення роботи САЗ.

На основі аналізу математичних розрахунків може бути обґрунтований можливий склад перспективної системи активного захисту основних зразків озброєння та військової техніки.

На рис. 7 наведений Screen Short, що ілюструє статистичну обробку результатів даних щодо захисту/ураження об’єктів БТОТ при веденні бойових дій [22, 23].

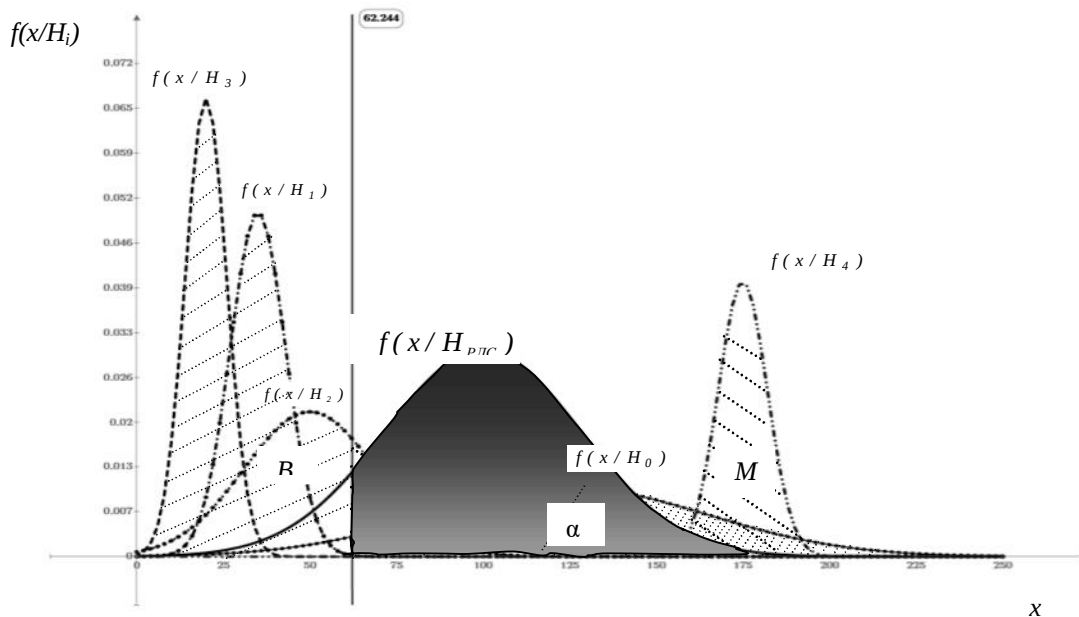


Рис. 6. Врахування обмежень щодо ймовірності “дружнього” придушення САЗ

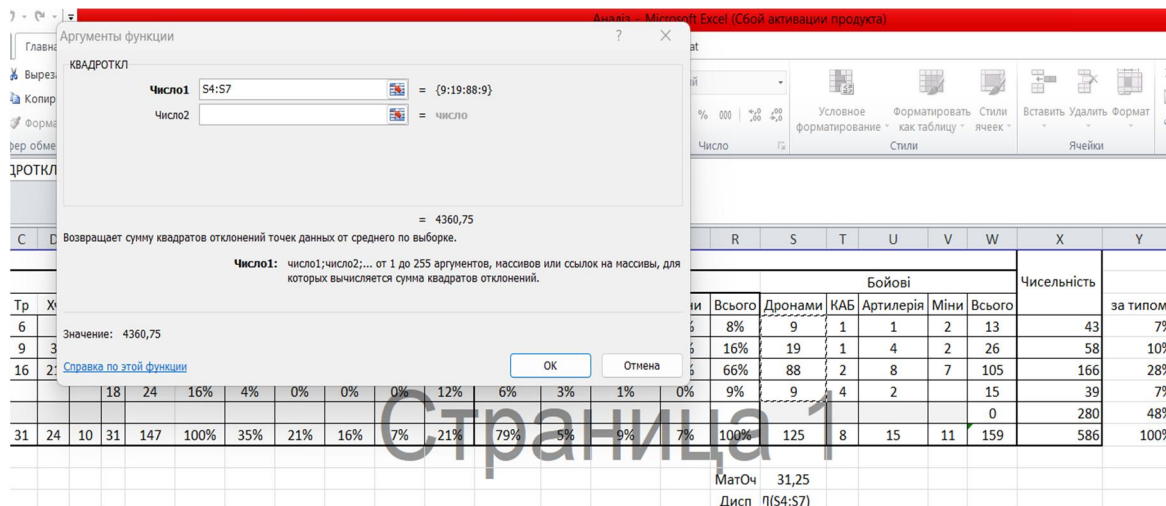


Рис. 7. Статистична обробка результатів даних щодо захисту/ураження об’єктів ОВТ при веденні бойових дій

Можливий склад перспективної системи активного захисту основних зразків озброєння та військової техніки запропонований на основі аналізу математичних розрахунків (табл. 3 та табл. 4) за формулами (1)–(15).

Як приклад, розглянемо таку комплектацію САЗ для Т-64 Б:

- підсистема виявлення об’єктів загрози, до складу якої входять пасивні давачі інфрачервоного

випромінювання дальнього радіуса дії, лазерні випромінювачі ближнього радіуса дії;

- підсистема аналізу ідентифікації та цілевказівки;

- дві APS “Strike Shield” з додатковим SMART-налаштування (за попередніми дослідженнями [22, 23], встановлення при цьому додаткова плати управління та елементів живлення не потрібно);

- або оптико-електронний комплекс “FILIN-O” та додаткової SMART-контролер для реалізації математичних розрахунків перевірки статистичних гіпотез.

Таблиця 3

Ймовірність помилки першого роду при застосуванні елементів підсистеми виявлення, ідентифікації та цілевказання та CA3 AMAP-ADS

№ з/п	Найменування	Ймовірність помилки I роду
1.	РЛС “СНОВ”	0,35
2.	РЛС “БІСКВІТ-КБ”	0,19
3.	РЛС “Лис-М”	0,2
4.	Оптико-електронний комплекс “FILIN-O”	0,11
5.	Оптико-прицільна станція наведення “ОПСИ-И”	0,13
6.	APS Strike Shield	0,08
7.	ADS-Gen3	0,09

Таблиця 4

Ймовірність помилки першого роду при застосуванні елементів підсистеми кінетичного і некінетичного впливу та CA3 AMAP-ADS

№ з/п	Найменування	Ймовірність помилки I роду	Ймовірність помилки II роду
1.	“Iron Fist”	0,25	0,38
2.	“Slinger”	0,2	0,35
3.	РЕБ SkyWiper OMNI NT	0,29	0,36
4.	РЕБ “Буковель-ПП”	0,3	0,3
5.	AD Kraken U	0,3	0,3
6.	КОЕП “Штора”	0,33	0,35
7.	“Варта”	0,2	0,3
8.	AMAP-ADS	0,2	0,29

Для апаратної реалізації алгоритму пропонується використання 32-розрядного мікроконтролера PIC32 компанії Microchip. Hardware блока управління дозволяє використовувати його за температури від -45 °C до +50 °C. Використання плати індикації даного контролера в даній статті не розглядається [24].

У якості “дружньої” РЕБ рекомендується розглянути ADS-Gen3.

Підсистема кінетичного впливу у складі:

- реактивні гранати (контрбоеприпаси);
- дистанційні артилерійські (кулеметні, гранатометні, гарматні) модулі;
- сіткометні заряди;
- контрбоеприпаси, що встановлюються по периметру корпусу ОБТ.

Прогнозований ефект від реалізації технічних рішень щодо адаптації CA3 AMAP-ADS до використання її на зразках ОБТ, що є на озброєнні ЗСУ

За розрахунками реалізація запропонованих технічних рішень дозволить отримати такі результати [8, 23]:

- висота виявлення БпЛА та засобів ураження ОБТ (I рівень підсистеми виявлення) становитиме не менш 1,5 км;

- дальність виявлення БпЛА та засобів ураження ОБТ (I рівень підсистеми виявлення) становитиме не менше 1,5 км;

- висота виявлення БпЛА та засобів ураження ОБТ (II рівень підсистеми виявлення) складатиме від 15 до 250 м;

- дальність виявлення БпЛА та засобів ураження ОБТ (II рівень підсистеми виявлення) в горизонтальній проекції складатиме 4-4,5 м.

Крім того, передбачається такий ефект від реалізації технічних рішень щодо підсистеми кінетичного впливу;

- зона впливу на БпЛА та засоби ураження ОБТ використанням реактивних контрбоеприпасів досягатиме радіуса до 45 м та висоти до 90 м;

- зона впливу на БпЛА та засоби ураження ОБТ використанням дистанційних артилерійських модулів досягатиме радіуса до 2,3 км та висоти до 1 км;

- зона впливу на БпЛА та засоби ураження ОБТ використанням контрбоеприпасів ближньої дії досягатиме радіуса до 10 м та висоти до 60 м.

Крім того, передбачається:

- дальність виявлення БпЛА за його радіосигналами в умовах прямої видимості та придушення бортових приймачів сигналів супутникової навігації (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou) складатиме не менше 3 км;

- висота придушення бортових приймачів сигналів управління БпЛА в умовах прямої видимості складатиме не менше 40 м;

- дальність придушення бортових приймачів сигналів управління БпЛА в умовах прямої видимості складатиме не менше 150 м.

Комплекс активного захисту може бути механічно інтегрований у гібридні броньові плити зразка БТОТ.

Як приклад, на рис. 8 показано, як комплекс Strike Shield буде механічно інтегрований у гібридні навісні броньові плити на БМП Lynx.



Рис. 8. Комплекс активного захисту, механічно інтегрований у гібридні броньові плити

Замість звичайних додаткових модулів пасивної броні платформа буде мати рознесені пасивні броньові плити, що будуть включати компоненти комплексу активного захисту між зовнішніми та внутрішніми шарами броні, встановленими на корпусі бронетехніки [25].

Висновки

1. Система активного захисту ADS в останньому варіанті виконання інтегрує компоненти системи активного захисту в пасивну рознесену броню. Завдяки модульній конструкції ADS може бути адаптована до широкого спектра зразків бронетанкового озброєння та військової техніки і здатна захистити техніку від великокаліберної зброї, яку не зупинить легка броня. Розташування давачів і засобів протидії забезпечує півсферичний захист. Перекриття секторів модулів давач-протидія дозволяє системі відбивати атаки з кількох напрямів. У порівнянні з іншими системами жорсткого знищення тут немає рухомих частин, що робить ADS легким за вагою і зменшує потребу в електроенергії.

2. У існуючому варіанті система не призначена для повної заміни пасивної броні, оскільки снаряди більшого калібру будуть лише роздроблені, а не повністю відхилені, і для поглинання залишкової енергії осколків потрібна пасивна броня. У системі AMAP-ADS не передбачені SMART-технології, зокрема виявлення і розпізнання піхоти, яка знаходиться в зоні контролю.

Безумовне, надлишкове використання захисту підвищує його надійність, але не є оптимальним з точки зору ресурсозатратності. Ефективне застосування AMAP-ADS можливо при диференційованому спрацюванні давачів. Однак, такий підхід вимагає розроблення алгоритму дій, який би мінімізував ймовірність хибного спрацювання давачів або пропуску удару та “дружнього” придушення. Аналіз переваг та недоліків розглянутих реалізацій активного захисту зразків ОБТ дає змогу зробити висновок про доцільність розробки методики їх компонування для підвищення ефективності застосування.

3. Сенс адаптації САЗ AMAP-ADS до використання її на зразках ОБТ, що є на озброєнні ЗСУ, полягатиме у визначенні оптимального набору компонентів і підсистем та додаткових елементів для забезпечення їх взаємодії із заданим рівнем надійності. В цьому випадку виникає завдання об’єднання інформації, отриманої від модулів підсистеми управління та/або підсистеми виявлення, ідентифікації та цілевказання без втрати якості. Саме з цією метою в роботі пропонується скористатися математичним апаратом перевірки статистичних гіпотез.

4. Введення додаткових елементів у роботу системи пропонується передбачити з метою дотримання балансу потужності та забезпечення SMART-взаємодії існуючих та доданих елементів захисту. Комплекс активного захисту може бути механічно інтегрований у гібридні броньові плити зразка БТОТ.

5. Ефект від реалізації технічних рішень щодо адаптації САЗ AMAP-ADS до використання її на зразках ОБТ, що є на озброєнні ЗСУ, полягатиме у мінімізації ймовірності хибного спрацювання давачів шляхом їх диференційованого спрацювання при забезпеченні достатнього рівня надійності (шкоди “дружнього” придушення).

В подальшому пропонується сформулювати технічні вимоги до системи активного захисту броньованої техніки від FVP-дронів та дронів зі скидами за допомогою постановки радіоелектронних перешкод, кінетичного впливу, відстрілу антидронових сіток та протидронових систем з автономними модулями.

Список літератури

1. СВП 7-00(11). Інформаційний бюлетень з вивчення та впровадження досвіду. Листопад 2024. Київ: КСВ. 56 с.
2. AMAP-ADS. *Defense Update*. 16 Sep 2004–21 Mar 2024. URL: <http://www.defense-update.com/products/a/ads-ibd.htm> (дата звернення: 21. 04.2025).
3. Rheinmetall takes up a majority share in ADS GmbH. *Rheinmetall Defense*. 2011. URL: <https://web.archive.org/web/20120315170646/http://www.rheinmetall-detec.de/index.php?fid=5502&lang=3> (дата звернення: 21. 04.2025).
4. AMAP ADS Active Defence System part demo. *IBD Deisenroth Engineering*. July 7, 2012. Archived from the original on 2021-12-21. Retrieved 1 August 2013. URL: <https://ghostarchive.org/varchive/vTmas41tVhY> (дата звернення: 21. 04.2025).
5. Rust M. Passive Protection Concepts. *Protection technologies*. 2011. URL: https://web.archive.org/web/20111008031621/http://www.ibd-deisenroth-engineering.de/press-coverage.html?file=tl_files%2Fresources%2Fcontent-pdfs%2Fpassiv_protection.pdf (дата звернення: 10. 02.2025).
6. IBD Unveils Active Armour Tech to Protect Main Battle Tank. *Defense Mirror*. URL: www.defensemirror.com (дата звернення: 10. 02.2025).

7. Лупандін В.А., Мегельбей Г.В., Самойленко В.М., Тюріна В.Ю. Обґрунтування напрямків захисту об'єктів та озброєння і військової техніки від роїв безпілотних літальних апаратів. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2021. № 4(45). С. 58-64. DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.45.07>

8. Соломатін Д., Седляр А., Пасічник В., Луцевят О., Слюсаренко М., Попков С. Обґрунтування технічних характеристик до систем активного захисту броньованої техніки від FPV-дронів та дронів зі "скидами". *Міжнародний науковий журнал "Military Science"*. 2025. 2(4). С. 99-116. DOI: <https://doi.org/10.62524/msj.2024.2.4.9>

9. Merriam-Webster definition for countermeasure. *Merriam-webster*. URL: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/countermeasure> (дата звернення: 10. 02.2025).

10. Modern alarm security systems URL: *Top Guard Security*. URL: <https://topguard.ua/ua/korysne/416-suchasni-systemy-okhonoronnoyi-syhnalizatsiyi> (дата звернення: 23.01.2025).

11. Jackson R.G. Novel sensors and sensing, Institute of Physics publishing. Bristol and Philadelphia, USA. 2004. 512 с. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429138348>

12. Лепіх Я.І., Гордієнко Ю.О., Дзядевич С.В. та ін. Інтелектуальні вимірювальні системи на основі мікроелектронних давачів нового покоління. Одеса: Астропринт, 2011. 352 с.

13. Вентцель О.С. Теорія ймовірностей. 4-те вид, М.: Наука, 1969. 576 с.

14. Raytheon's Quick Kill Active Protection System defeats one of the most lethal armor-piercing Rocket Propelled Grenades. *Raytheon Company*. URL: <https://raytheon.mediaroom.com/index.php?s=43&item=2251> (дата звернення: 10. 02.2025).

15. Rheinmetall представила комплекс активного захисту Strike Shield. *Military*. 2011. URL: <https://military.com/uk/news/rheinmetall-predstavyla-kompleks-aktyvnogo-zahystu-strike-shield/#~:text=Strike%20Shield%20-%20третє%20і%20останнє,до%20розміщення%20на%20різні%20бронетехніці> (дата звернення: 10. 02.2025).

16. ADS - Gesellschaft fur aktive Schutzsysteme mbH. *Army Guide*. 2018. <http://www.army-guide.com/rus/product.php?prodID=5967&printmode=1> (дата звернення: 10. 02.2025).

17. Вентцель О.С. Введення в дослідження операцій: підручник. М.: Радянське радіо, 1964. 390 с.

18. Раскин Л.Г. Математические методы исследования операций и анализа сложных систем вооружения ПВО. Х.: ВИРТА, 1988. 177 с.

19. Кириченко И.О., Макогон Е.А. Задача проверки статистических гипотез как задача линейного программирования. *Труды академии*. 1999. Вип. 13. С. 78-82.

20. Кириченко И.О., Раскин Л.Г. Математичні основи теорії вогневих дуелей: монографія. Харків: BIBB MBC України. 2005. 290 с.

21. Programme 4 you. URL: <https://programforyou.ru/calculators/simplex-method>.

22. Oleksandr Serpukhov, Pavlo Horodnichenko, Dmytro Dyachenko Kukhtin Mikola, Oleksandr Marchenko, Melnyk Ivan, Andrii Rudyi, Oleg Trush. Improvement of the perimeter protection system based on the mathematical apparatus of the theory of verification of statistical hypotheses.

XX International Scientific and Practical Conference "Challenges and problems of modern science". January 30-31, 2025. London, United Kingdom. PP. 129-134. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14803299>

23. Городниченко П.С., Серпухов О.В., Пелехатий М. А. Аналіз можливостей адаптації системи АМАР-АДС для зразків озброєння та військової техніки ЗСУ. *XXXIII Міжнародна науково-практична конференція: "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. MicroCAD – 2025"*. Харків, НТУ "ХПІ". С. 1751.

24. Документація контролера PIC 32 PIC32MX5XX/6XX/7XX Family Data Sheet (05/09/2001). URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviseDoc/61156G.pdf>

25. Нові БМП Lynx для Угорщини отримують активний захист. *Military*. URL: <https://military.com/uk/news/novi-bmp-lynx-dlya-ugorshhyny-otrymayut-aktyvnyj-zahyst/> (дата звернення: 21. 04.2025).

References

1. SVP 7-00(11). (2024), "Informatsiyni biuleten z vyvchennia ta vprovadzhennia dosvidu" [Information bulletin on learning and implementing experience]. KSV. Kyiv. 56 p. [in Ukrainian].

2. AMAP-ADS. *Defense Update*. 16 Sep 2004–21 Mar 2024. URL: <http://www.defense-update.com/products/a/ads-ibd.htm>. (Accessed 21 April 2025).

3. Rheinmetall takes up a majority share in ADS GmbH. *Rheinmetall Defense*. (2011), URL: <https://web.archive.org/web/20120315170646/http://www.rheinmetall-detec.de/index.php?fid=5502&lang=3> (Accessed 21 April 2025).

4. (2013), AMAP ADS Active Defence System part demo. *IBD Deisenroth Engineering*. July 7, 2012. Archived from the original on 2021-12-21. Retrieved 1 August 2013. URL: <https://ghostarchive.org/varchive/vTmas41tVhY>. (Accessed 21 April 2025).

5. Rust M. (2011), "Passive Protection Concepts". *Protection technologies*. URL: https://web.archive.org/web/20111008031621/http://www.ibd-deisenroth-engineering.de/press-coverage.html?file=tl_files%20Fresources%20Fcontent-pdfs%20Fpassiv_protection.pdf (Accessed 10 February 2025).

6. IBD Unveils Active Armour Tech to Protect Main Battle Tank. *Defense Mirror*. URL: www.defensemirror.com. (Accessed 10 February 2025).

7. Lupandin V.A., Mehelbei H.V., Samoilenko V.M. and Tiurina V.Yu. (2021), "Obgruntuvannia napriamkiv zakhystu ob'ektiv ta ozbroiennia i viiskovoi tekhniki vid roiv bezpilotnykh litalnykh aparativ" [Justification of the directions of protection of facilities and weapons and military equipment from swarms of unmanned aerial vehicles]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy*. 2021. № 4(45). P. 58-64. DOI: <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.45.07> [in Ukrainian].

8. Solomatin D., Sedliar A., Pasichnyk V., Lutseviat O., Sliusarenko M. and Popkov S. (2025), "Obgruntuvannia tekhnichnykh kharakterystyk do system aktyvnogo zakhystu bronovanoi tekhniki vid FPV-droniv ta droniv zi "skydamy" [Justification of technical characteristics for active protection systems for armored vehicles against FPV drones and drones with "resets"]. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal "Military Science"*. 2025. 2(4). P. 99-116. DOI: <https://doi.org/10.62524/msj.2024.2.4.9> [in Ukrainian].

9. Merriam-Webster definition for countermeasure. Merriam-webster. URL: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/countermeasure>. (дата звернення 10. 02.2025). (Accessed 10 February 2025).

10. Modern alarm security systems URL: *Top Guard Security*. URL: <https://topguard.ua/ua/korysne/416-suchasni-systemy-okhoronnoyi-syhnalizatsiyi/> (Accessed 23 January 2025).

11. Jackson R.G. (2004), "Novel sensors and sensing, Institute of Physics publishing". Bristol and Philadelphia, USA. 512 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429138348>

12. Lepikh Ya.I., Hordiienko Yu.O., Dziadevych S.V. ta in. (2011), "Intelektualni vymyruvalni systemy na osnovi mikroelektronnykh davachiv novoho pokolinnia" [Intelligent measuring systems based on new generation microelectronic sensors]. Odesa: *Astropynt*, 2011. 352 p. [in Ukrainian].

13. Ventsel O.S. (1969), "Teoriia ymovirnostei" [Probability theory]. ed. 4. M.: Nauka, 1969. 576 p. [in Ukrainian].

14. Raytheon's Quick Kill Active Protection System defeats one of the most lethal armor-piercing Rocket Propelled Grenades. *Raytheon Company*. URL: <https://raytheon.mediaroom.com/index.php?s=43&item=2251> (Accessed 10 February 2025).

15. (2011), Rheinmetall predstavyla kompleks aktyvnogo zakhystu Strike Shield [Rheinmetall introduced the Strike Shield active defense complex]. *Militarnyi*. URL: <https://militarnyi.com/uk/news/rheinmetall-predstavyla-kompleks-aktyvnogo-zahystu-strike-shield/#:~:text=Strike%20Shield%20-%20trete%20i%20ostanne,%20rozmiщення%20na%20rizniy%20bronetekhnici> (data zvernennia 10. 02.2025). [in Ukrainian].

16. (2018), ADS - Gesellschaft fur aktive Schutzsysteme mbH. *Army Guide*. <http://www.army-guide.com/rus/product.php?prodID=5967&printmode=1>. (Accessed 10 February 2025).

17. Ventsel O.S. (1964), "Vvedennia v doslidzhennia operatsii: pidruchnyk" [Introduction to Operations Research: Textbook]. M.: Radianske radio, 1964. 390 p. [in Ukrainian].

18. Raskyn, L.H. (1988), "Matematycheskye metody yssledovaniia operatsyi u analiza slozhnykh system vooruzheniya PVO" [Mathematical methods of operations research and analysis of complex air defense weapons systems]. Kh.: VYRTA, 1988. 177 p. [in Russian].

19. Kyrychenko Y.O. and Makohon E.A. (1999), "Zadacha proverky statystycheskykh hipotez kak zadacha

lyneinoho prohammyrovanyia" [The problem of testing statistical hypotheses as a linear programming problem]. *Trudy akademii*. 1999. Vyp. 13. P. 78-82. [in Russian].

20. Kyrychenko I.O. and Raskin L.H. (2005), "Matematychni osnovy teorii vohnevnykh duelei: monohrafiia" [Mathematical foundations of the theory of fire duels: monograph]. Kharkiv: VIVV MVS Ukrainy. 2005. 290 p. [in Ukrainian].

21. Programme 4 you. URL: <https://programforyou.ru/calculators/simplex-method> (Accessed 10 February 2025).

22. Oleksandr Serpukhov, Pavlo Horodnichenko, Dmytro Dyachenko, Kukhtin Mikola, Oleksandr Marchenko, Melnyk Ivan, Andrii Rudyi and Oleg Trush (2025), "Improvement of the perimeter protection system based on the mathematical apparatus of the theory of verification of statistical hypotheses". *XX International Scientific and Practical Conference "Challenges and problems of modern science"*. January 30-31. London, United Kingdom. PP. 129-134. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14803299>

23. Horodnychenko P.S., Serpukhov O.V. and Pelekhatyi M.A. (2025), "Analiz mozlyvostei adaptatsii systemy AMAP-ADS dlia zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki ZSU" [Analysis of the possibilities of adapting the AMAP-ADS system for samples of weapons and military equipment of the Armed Forces of Ukraine]. *XKhKhIII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia: "Informatsiini tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologhiia, osvita, zdorovia. MicroCAD – 2025"*. Kharkiv, NTU "KhPI". P. 1751. [in Ukrainian].

24. (2025), "Dokumentatsiia kontrolera" [Documentation of the PIC 32 controller PIC32MX5XX/6XX/7XX Family Data Sheet (05/09/2001)]. RIS 32 PIC32MX5XX/6XX/7XX Family Data Sheet (05/09/2001). URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviseDoc/61156G.pdf> [in Ukrainian].

25. (2025), "Novi BMP Lynx dlia Uhorshchyny otrymaiut aktyvnyi zakhyst" [New Lynx infantry fighting vehicles for Hungary will receive active protection]. *Militarnyi*. URL: <https://militarnyi.com/uk/news/novi-bmp-lynx-dlya-ugorshchyny-otrymayut-aktyvnyj-zahyst/>. (Accessed 21 April 2025). [in Ukrainian].

RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF ADAPTATION OF THE AMAP-ADS SYSTEM FOR BTOT SAMPLES BASED ON THE MATHEMATICAL APPARATUS FOR VERIFICATION OF STATISTICAL HYPOTHESES

O. Serpukhov, H. Makogon, M. Vasyliiev, S. Piskun, O. Marchenko, O. Lavrut, B. Matuzko, M. Chornyi

The article is devoted to the justification of technological solutions for adapting the AMAP-ADS active protection system for use on munitions in service with the Armed Forces of Ukraine. By using the mathematical apparatus for testing statistical hypotheses, it was possible to obtain an approach to selecting the optimal set of elements of the AMAP-ADS SAZ with flexible (SMART) settings to minimize the probability of false sensor activation by their differentiated activation while ensuring a sufficient level of noise immunity.

The study yielded the following results: 1. The sensor response time and, accordingly, the voltage threshold values at which the actuators of the AMAP-ADS protection system are triggered are determined as random variables, which provided the basis for using the mathematical apparatus for testing multi-alternative statistical hypotheses to solve the problem of making a decision on the operation of sensors and avoiding "friendly" (due to the operation of one's own electronic warfare means) suppression of the SAZ. 2. Based on the analysis of mathematical calculations, a possible composition of a promising adapted active protection system for the main types of weapons and military equipment is proposed. 3. An assessment of the predicted effect of the implementation of technical solutions for adapting the AMAP-ADS SAZ for use on samples of munitions in service with the Armed Forces of Ukraine was carried out by minimizing the probability of false sensor activation while ensuring a sufficient level of reliability (missing a hit) and noise immunity (the influence of "friendly" suppression).

Keywords: active protection system for armored objects, adaptation, differentiated threat detection, statistical hypothesis testing, linear programming, first and second type errors.