

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА

ОРЛОВ СЕРГІЙ СЕРГІЙОВИЧ

Допускається до захисту:
в.о. завідувача кафедри
прикладної математики

_____ О. С. Ветров
«__» _____ 2022 року

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПЛОТНИКІВ ТА РАКЕТ В
БОЙОВИХ ДІЯХ

Спеціальність 113 Прикладна математика

Кваліфікаційна (магістерська) робота

Науковий керівник
Крикун І. Г., доцент кафедри
прикладної математики,
к. ф.-м. н., доцент

(підпис)

Оцінка: ____ / ____ / ____
(бали/за шкалою ECTS/за національною шкалою)

ГОЛОВА ЕК: _____
(підпис)

Вінниця 2022

АНОТАЦІЯ

Орлов С. С. Ефективність використання безпілотників та ракет в бойових діях. Спеціальність 113 «Прикладна математика», освітня програма «Прикладна математика». Донецький Національний університет імені Василя Стуса, Вінниця 2022. – 47 с.

У кваліфікаційній роботі досліджено способи вимірювання ефективності для засобів повітряних сил таких як літаки, ракети та безпілотні літальні апарати. Розроблено формулу для знаходження ефективності БПЛА в невизначених наперед умовах.

Ключові слова: статистика, моделювання, війна, конфлікт, втрати.

Табл. 2. Рис. 12. Бібліограф.: 31 найм.

ABSTRACT

Orlov S. Efficiency of usage of drones and missiles in military operations. Specialty 113 «Applied mathematics», program «Applied mathematics». Vasyl' Stus Donetsk National University, Vinnytsia, 2022.

In the qualification work, methods of measuring efficiency for air force equipment such as airplanes, missiles and unmanned aerial vehicles were investigated. A formula has been developed for finding the efficiency of UAVs in uncertain conditions.

Key words: statistics, modeling, war, conflict, losses.

Tabl. 2. Fig. 12. Bibliography: 31 items.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПРОБЛЕМАТИКИ.....	7
1.1. Огляд наявних публікацій.....	7
1.2. Проблема конфіденційності.....	10
Висновок по першому розділу.....	11
РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ БОЙОВИХ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В НЕВИЗНАЧЕНИХ УМОВАХ.....	12
2.1. Огляд деяких теоретичних методів.....	12
2.2. Стандартні бойові ситуації.....	12
2.3. Вимірювання бойової ефективності БПЛА.....	15
2.4. Аналіз моделювання вимірювання бойової ефективності.....	18
Висновок по другому розділу.....	26
РОЗДІЛ 3. ДЕЯКІ З ВАРІАНТІВ ВИЗНАЧЕННЯ БОЙОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИНИЩУВАЧА.....	27
Висновок по третьому розділу.....	32
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ РАКЕТ ТА ДРОНІВ В РОСІЙСЬКО- УКРАЇНСЬКІЙ ВІЙНІ.....	33
4.1. Повітряні удари російських терористичних військ.....	33
4.2. Використання ракетного озброєння Збройними Силами України.....	39
4.3. Використання БПЛА.....	43
4.4. Використання комерційних БПЛА.....	44
4.5. Аналіз можливостей використання БПЛА ворогом.....	45
4.6. Використання надводних дронів силами ЗСУ.....	46
Висновок по четвертому розділу.....	47
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

ВСТУП

В сучасному світі шалена швидкість розвитку технологій не лишає жодних шансів тому, хто стоїть на місці. Єдиний стійкий спосіб бути на вістрі розвитку, а відповідно й мати вплив на тих, що йдуть позаду, можливо лише в довгостроковій перспективі вкладаючи максимум грошей та зусиль в розвиток науки, щоб використати їх для покращення свого положення та вплив на світовій арені [5]. Зусилля щодо його посилення в усій економіці мають включати державний сектор. Однак виміряти його для державних установ і служб непросто. У цій роботі розглядається можливість вимірювання продуктивності оборонного сектору економіки та описується, як деякі нещодавні дослідження [6],[9],[17] можна застосовувати ширше.

Головною проблемою у вимірюванні ефективності оборонної сфери є те, що ми навмисно – і це цілком зрозуміло – уникаємо збройних конфліктів, крім крайнього засобу. Крім того, в ідеалі ми хотіли б виконати максимум китайського філософа Сунь Цзи про те, що «Найвище мистецтво війни — підкорити ворога без бою». Стримування агресії видимою військовою силою краще, ніж війна. Однак ми хочемо переконатися, що значні ресурси, які виділяються на підтримку військового потенціалу, витрачаються ефективно та забезпечують оптимальне співвідношення ціни та якості.

Протягом останніх десятиліть військово-повітряні сили завжди були важливим військовим компонентом, який брав участь у всіх кризах або конфліктах, від Фолклендських островів до Перської затоки [23], від Боснії до Косово, від Афганістану до Лівії, а останнім часом у Малі, Центральноафриканській Республіці, Іраку, Сирії та Карабаху, а останні 9 місяців, на жаль, і в Україні. [7]

Військова авіація, безсумнівно, є головним родом військ сьогодення як за боездатністю, так і за часткою застосованих новітніх технологій [13].

У сучасній війні домінування в повітрі з першого дня є обов'язковим, щоб операції, що проводяться на землі або на морі завдяки підтримки авіації з найменшими втратами досягали перемоги над супротивником.

Під час асиметричних конфліктів і конфліктів проти повстанців авіація також залишається в авангарді військових зусиль, її гнучкість і вогнева потужність допомагають забезпечити перевагу союзних сил.

Актуальність теми дослідження з наукової точки зору полягає в невеликій кількості досліджень на цю тему у відкритому доступі. З практичної точки зору результати досліджень можна використати для збільшення ефективності Повітряних Сил.

Об'єктом дослідження є військово-повітряні сили загалом, та БПЛА, ракети та літаки зокрема.

Предмет дослідження – ефективність використання тих чи інших видів літальних апаратів для виконання бойових завдань

Мета дослідження – дослідження відомих способів оцінки ефективності ПС, розробка власного

Завдання дослідження: дослідити існуючі способи вимірювання ефективності повітряних сил. Розробити свій спосіб аналізу бойової ефективності для безпілотних літальних апаратів. Дослідити використання бойової авіації, ракет та БПЛА в повномасштабній Російсько-Українській війні.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, що на цю тему взагалі майже не проводяться дослідження у відкритому доступі, тому це дослідження може стати опорою для більш конкретизованих наукових досліджень на тему використання бойової авіації.

Практичне значення отриманих результатів.

Дослідження проведені в цій роботі можуть бути використані для побудування інших досліджень на кшталт конкретного пост-фактум аналізу

ефективності повітряних сил в певному конфлікті, або ж розробки методології визначення бойової ефективності авіації в умовах сильної протидії ворожого ППО.

Структура роботи. Магістерська робота складається зі вступу та чотирьох розділів. В першому проводиться огляд проблематики та наявних досліджень. В другому розробка власної формули оцінки ефективності БПЛА в невизначених умовах. В третьому розбираються деякі існуючі методи оцінки ефективності бойової авіації. В четвертому проводиться аналіз ефективності використання повітряної складової російсько-української війни. Загальний об'єм кваліфікаційної роботи становить 51 сторінку, де основна частина займає 48 сторінок. Магістерська робота містить 12 ілюстрацій та дві таблиці. Список використаних джерел налічує 31 джерело.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ПРОБЛЕМАТИКИ

Специфіка обраної теми накладає достатньо суттєві обмеження на можливість збору та дослідження будь-якої інформації по темі, адже без виключення усі корисні дослідження будуть засекречені максимально довго. Навіть коли потенційний супротивник проведе схожі дослідження, прийде до схожих висновків – це все одно не час відкривати свої дослідження на загал, бо в перегонах озброєнь будь-яка допомога супротивнику – диверсія собі.

Через це у відкритому доступі вкрай мало матеріалів з детальними описами досліджень, ґрунтуючись на яких можна було б побудувати власне дослідження зосередившись на якихось конкретних аспектах та можливостях визначення та покращання ефективності саме в якихось специфічних моментах роботи бойової авіації.

1.1. Огляд наявних публікацій

Наразі у відкритому доступі можна знайти більше статистичної інформації стосовно тих чи інших повітряних сил. [8] Можна порівнювати статистичні дані з офіційних джерел та OSINT (від англ. Open Source Intelligence – розвідка по відкритих джерелах) [24] за допомогою яких можна побудувати якісь статистичні моделі, які будуть дійсно спиратись на реальні статистичні дані, а не обмежуватись лише теоретичними можливостями досліджуваних видів озброєнь (які цілком можуть бути завищені або занижені в повідомленнях компанії виробника або міністерства оборони якоїсь країни в цілях дезінформації ворога, що також накладає свій відбиток на можливість проведення об'єктивних та репрезентативних досліджень по темі оборонної промисловості).

Деякі дослідження, що проводились військовими експертами при військових штабах різних країн з часом розсекречують [12], проте інформація там буде звісно вже застаріла, але зважаючи на мізерну кількість таких досліджень взагалі – навіть крупиця застарілої інформації, але достовірної та

отриманої з реальних практичних досліджень – це набагато краще низки теоретичних досліджень[14],[26], які іноді бувають взагалі відірвані від реальності, або статистичних досліджень [21],[28], в яких можуть бути обрані не вірні кореляції.

В сучасному світі шалена швидкість розвитку технологій не лишає жодних шансів тому, хто стоїть на місці. Єдиний стійкий спосіб бути на вістрі розвитку, а відповідно й мати вплив на тих, що йдуть позаду, можливо лише в довгостроковій перспективі вкладаючи максимум грошей та зусиль в розвиток науки, щоб використати їх для покращення свого положення та вплив на світовій арені [5]. Зусилля щодо його посилення в усій економіці мають включати державний сектор. Однак виміряти його для державних установ і служб непросто. У цій роботі розглядається можливість вимірювання продуктивності оборонного сектору економіки та описується, як деякі нещодавні дослідження [6], [9], [17] можна застосовувати ширше.

Головною проблемою у вимірюванні ефективності оборонної сфери є те, що ми навмисно – і це цілком зрозуміло – уникаємо збройних конфліктів, крім крайнього засобу. Крім того, в ідеалі ми хотіли б виконати максимум китайського філософа Сунь Цзи про те, що «Найвище мистецтво війни — підкорити ворога без бою». Стимування агресії видимою військовою силою краще, ніж війна. Однак ми хочемо переконатися, що значні ресурси, які виділяються на підтримку військового потенціалу, витрачаються ефективно та забезпечують оптимальне співвідношення ціни та якості.

Протягом останніх десятиліть військово-повітряні сили завжди були важливим військовим компонентом, який брав участь у всіх кризах або конфліктах, від Фолклендських островів до Перської затоки [23], від Боснії до Косово, від Афганістану до Лівії, а останнім часом у Малі, Центральноафриканській Республіці, Іраку, Сирії та Карабаху, а останні 9 місяців і в Україні. [7]

Військова авіація, безсумнівно, є головним родом військ сьогодення як за боєздатністю, так і за часткою застосованих новітніх технологій [13].

У сучасній війні домінування в повітрі з першого дня є обов'язковим, щоб операції, що проводяться на землі або на морі завдяки підтримки авіації з найменшими втратами досягали перемоги над супротивником.

Під час асиметричних конфліктів і конфліктів проти повстанців авіація також залишається в авангарді військових зусиль, її гнучкість і вогнева потужність допомагають забезпечити перевагу союзних сил.

Уроки, винесені з останніх конфліктів, у яких використовувалася повітряна сила, можна узагальнити в чотирьох загальних очікуваннях політичних діячів щодо систем зброї [11], [22]:

1. **Універсальність**, тобто можливість за допомогою однієї системи виконувати різні місії;
2. **Сумісність** або здатність воювати в коаліції з союзниками, використовуючи загальні процедури та угоди про стандарти, а також співпрацюючи та спілкуючись у режимі реального часу з іншими системами;
3. **Гнучкість**, яку можна проілюструвати здатністю виконувати кілька різних місій під час одного вильоту. Завдяки цій можливості можна миттєво перемикатися на вимогу особи, яка приймає політичні рішення, від місії примусу («ударна сила») до превентивної місії (стримуюча «демонстрація сили» на низькій висоті, на високій швидкості), або навіть скасувати місію останньої секунди (зворотність);
4. **Живучість**, тобто здатність виживати в щільному середовищі загрози завдяки непомітності та/або вдосконаленим системам електронної боротьби.

1.2. Проблема конфіденційності

Підходячи до проблем вимірювання ефективності, характерних для оборони, перша велика проблема пов'язана з умовним характером її результатів. Засоби оборони, включаючи пілотовані кораблі та літаки, а також сухопутні сили, які утримуються в готовності до розгортання, призначені для виконання своїх основних функцій у ситуаціях, які виникають дуже рідко і яких влада навмисно уникає. Це створює проблеми управління набагато більшими, ніж просто вимірювання продуктивності, пов'язане з мотивацією співробітників, оцінкою ефективності та забезпеченням постійного, ретельного та реалістичного навчання. Однак, оскільки велика частина збройних сил не була перевірена в боях протягом десятиліть, неминуче існує невідомий елемент того, як вони діяли б у гіпотетичному конфлікті, і, отже, наскільки ефективним є витрати на оборону насправді

Друга проблема вимірювання ефективності оборони полягає в тому, що стримування ворожих збройних угруповувань і потенційних ворогів є ключовим результатом. Це ускладнює ситуацію. Міністерству оборони не лише складно оцінити свою оперативну ефективність у ряді можливих сценаріїв, але є ще важливий невідомий сценарій протистояння без бою. Як потенційні супротивники сприймають і реагують на нашу відому військову силу, і як би змінилося це сприйняття та реакція, якби ми інвестували в інші структури збройних сил або системи озброєнь або продемонстрували можливості наших збройних сил інакше?

Міністерство Оборони не єдине, що стикається з цими проблемами вимірювання ефективності. Пожежна служба також готується до катастрофічних подій, які трапляються нечасто. Однак пожежники не мають на меті стримування негоди, як це робить оборона. Поліція має на меті запобігання злочинності, але може практикувати свої навички та демонструвати результати своєї роботи щоденно.

Військове стримування за своєю суттю складне: ми намагаємося переконати потенційних ворогів у потужності наших сил, водночас позбавляючи їх можливості спостерігати за діями цих сил. Виміряти ефективність оборони відповідно складно. Однак зосередження на ретельно підбраному наборі ключових коефіцієнтів: витрати для окремих активів або можливостей може стати основою для ширшого опису ефективності.

В цій роботі буде розглянута низка методологій, що допомагають нам зрозуміти тенденції ефективності, а перевірка результатів за міжнародними або цивільними стандартами дає уявлення про ефективність збройних сил.

Висновок по першому розділу

З огляду літератури та наявних досліджень можна стверджувати, що відкритих масштабних досліджень на тему вимірювання саме бойової ефективності для військовою авіації майже не проводиться. Більша частина досліджень з виведенням реальних метрик зараз знаходяться в архівах міністерств оборони різних країн під грифом секретності. Проте дослідження, що знаходяться у відкритому доступі, теж можна використати для дослідження теми загалом та створення власної теоретичної зокрема.

РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ БОЙОВИХ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В НЕВИЗНАЧЕНИХ УМОВАХ

2.1. Огляд деяких теоретичних методів

«Той, хто має інформацію – буде керувати світом» – ця фраза якнайкраще описує реалії воєн сьогодення, саме тому роль вимірювання та оцінки боєздатності в інформаційній війні стає все більш помітною. Вчені провели поглиблені дослідження вимірювання та оцінки бойової ефективності під час військових операцій, таких як наземні, морські, повітряні та космічні. Почали з'являтися та набувати ефективного застосування такі методи як експоненціальний метод, метод ADC [29], метод SEA [9], метод нечіткої комплексної оцінки [18][31] та інші методи вимірювання бойової ефективності. У цьому розділі буде проаналізовано та обговорено ефект «туману» війни, спричинений природою невизначених цілей та загрозливого середовища. У моделі простору невизначеного поля бою [30] ми вивчимо деякі типові сценарії війни з кількома справжніми цілями/кількома помилковими цілями. Проаналізуємо справжню здатність датчиків розпізнавати ціль, параметри роботи датчиків і кількості та потужності боєприпасів на ефективність бою [27], з чого виведемо важливу інформацію для розробки системи розвідки та бойової інтеграції, пов'язаної з БПЛА.

2.2. Стандартні бойові ситуації

В даний час існує в основному два режими пошуку розвідувальних/бойових БПЛА в різних бойових сценаріях [20]. Один — лінійний режим пошуку, а інший — концентричний круговий режим пошуку дифузії походження. Для БПЛА, що летить на постійній висоті, зона його покриття є добутком швидкості на ширину зони пошуку.

Поява оперативних розвідувальних місій БПЛА на основі справжніх цілей і помилкових цілей не може бути точно визначена в сценаріях на полі бою. Щоб спростити складність проблеми, можна припустити, що справжня ціль і помилкова ціль підкоряються певному розподілу ймовірностей. Розподіл ймовірностей можна описати за допомогою рівномірного розподілу, розподілу Пуассона та нормального розподілу. Оскільки кількість справжніх і помилкових цілей невизначена, багато ситуацій на полі бою можна змоделювати на основі цих розподілів ймовірностей. У таких умовах на полі бою можна чітко визначити деяку розвідувальну інформацію (кількість справжніх і помилкових цілей, розподіл відповідності цілей тощо). Звичайно, деяка розвідувальна інформація не може бути встановлена явно. Відповідна література представила сім типових просторових сценаріїв поля бою. Відповідно до характеристик поля бою можна розділити два типові простори поля бою, лінійну симетрію та кругову. Розглянемо лінійну симетрію. У лінійно-симетричному просторі на полі бою кілька реальних цілей і кілька помилкових цілей належать розподілу Пуассона.

Зазвичай основним датчиком для розвідувального БПЛА є оптичний датчик, здатність датчика виконувати дуже точну класифікацію цілі матиме прямий вплив на результат інтерпретації невідомої цілі.

Коли БПЛА несе корисне навантаження у вигляді датчика для виявлення цілі, він порівнює виявлене зображення цілі зі збереженим базовим зображенням, щоб визначити, чи є ціль справжньою ціллю чи помилковою. Якщо ціль – справжня, то БПЛА атакує її. Ефективність датчика визначається ймовірністю правильної оцінки цілей. З цією метою встановлюється двійкова матриця невизначеності та робиться символічний опис:

Таблиця 1.1 – Двійкова матриця відповідності

	Реальна	Фіктивна
Справжня ціль	P_{TR}	$1 - P_{FTR}$
Фіктивна ціль	$1 - P_{TR}$	P_{FTR}

Параметр P_{TR} з таблиці 1 вказує ймовірність інтерпретації справжньої цілі, тобто коли з'являється справжня ціль, датчик правильно оцінює вірогідність того, що це справжня ціль, а P_{FTR} є ймовірністю інтерпретації помилкової цілі. Параметри P_{TR} та P_{FTR} не є незалежними і задовольняють модель кривої ROC (від англ. Receiver Operating Characteristic, робоча характеристика приймача) – крива, що допомагає оцінити якість бінарної класифікації, тобто зображає співвідношення правильно класифікованих об'єктів до загальної кількості носіїв ознаки

$$1 - P_{FTR} = P_{TR}(1 - q)P_{TR} + q$$

де $q \in (1, \infty]$ визначається якістю датчика і алгоритму обробки даних. Коли q збільшується, крива ROC також зростає. Коли $q \rightarrow \infty$, площа фігури, обмеженою кривою ROC та віссю абсцис, наближається до одиниці, що вказує на те, що ефективність розвідки найвища. На наступному малюнку показано дві криві ROC, коли показник q набуває різних значень.

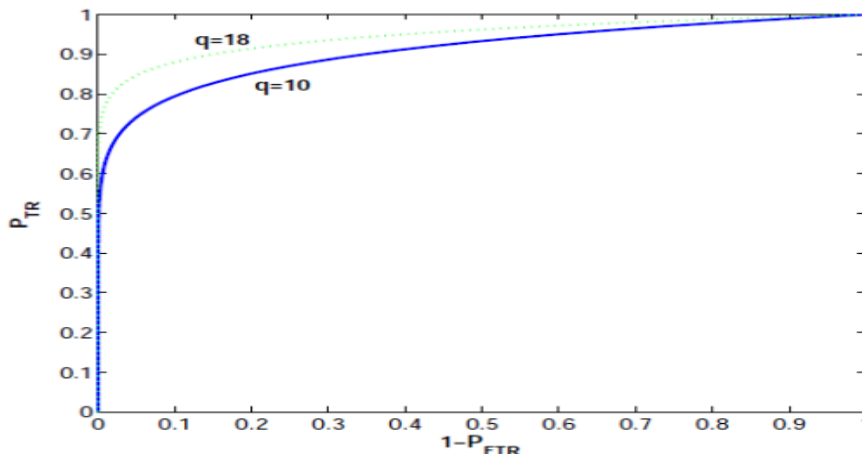
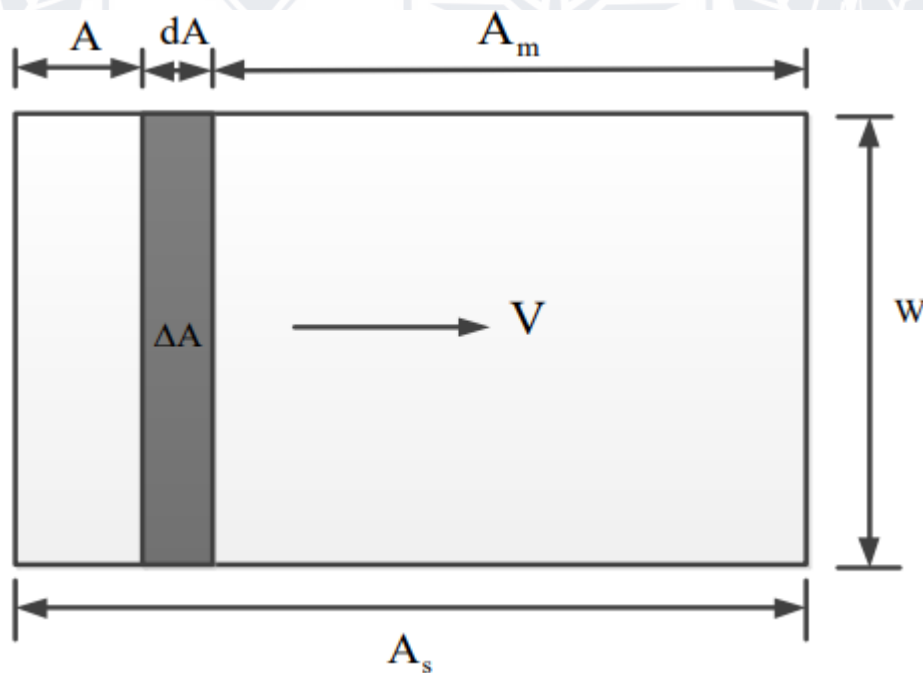


Рис. 2.1 Графік ROC-кривої - якості розпізнавання цілей

Через те, що існує багато сценаріїв і комплексний проблем на полі бою, у цьому дослідженні сконцентруємося лише на глибокому аналізі ситуації, в якій кілька справжніх цілей і кілька фіктивних цілей підкоряються розподілу Пуассона на полі бою з лінійною симетрією. В інших типових сценаріях на полі бою процес аналітичного обчислення подібний до цього.

2.3. Вимірювання бойової ефективності БПЛА

На певній висоті польоту БПЛА-розвідник (з потенціальною ударною опцією) летить зі швидкістю V в зоні смуги W шириною A_s , як показано на малюнку нижче.



«Рисунок 2.1 Зона видимості датчиків БПЛА відносно загального поля бою»

Якщо T використовується для вказівки загального часу перебування БПЛА на полі бою, через τ позначимо зону розвідки БПЛА A . Легко отримати швидкість польоту БПЛА та прямокутну зону поля бою.

$$A_s = WVT,$$

$$A = WV\tau$$

Таким же чином досліджувані території включають

$$\Delta A = WV\Delta\tau$$

Для ефективного зменшення складності проблеми встановлюється стандартизований час, тобто час нормалізується і виражається

$$x = \frac{\tau}{T}$$

Згідно з наведеним вище аналізом можна отримати $0 \leq x \leq 1$; аналогічно, x може також використовуватися для вказівки частки розвідувальної зони, що займає бойовий простір на полі бою, тобто

$$x = \frac{A}{A_S}$$

Щоб полегшити обчислення та уніфікований аналіз, ось деякі з символів у наведених нижче визначеннях. α – щільність розподілу помилкових цілей у районі розвідки A_S ($1/\text{km}^2$); β – щільність розподілу справжніх цілей у районі розвідки A_S ($1/\text{km}^2$); λ_{FTR} – параметри помилкової цілі, де зона розвідки A_S підпорядковується розподілу Пуассона, тобто $\lambda_{FTR} = \alpha A_S$; λ_τ is A_S в зоні розвідки підпорядковується параметрам справжньої цілі розподілу Пуассона, тобто $\lambda_\tau = \beta A_S$; M - подія виявлення справжньої цілі та нападу; F – подія виявлення хибної цілі, але інтерпретації як справжньої цілі та здійснення атаки; $M_{t,(*)}$ знаходить t справжні цілі та атакує; $F_{f,(*)}$ знаходить f хибні цілі, але інтерпретує як валідні та атакує.

Для зручності подія, що відбувається на певній території, повинна бути позначена разом із областю як нижній індекс символу події. Наприклад, $M_{t,A}$ вказує на те, що атакуються справжні цілі t в зоні A

У цій роботі, задля того щоб інтуїтивно відчувати важливість бойової ефективності, боездатність БПЛА розуміється як кількість цілей атаки БПЛА в певному сценарії на певному полі бою. Через те, що БПЛА оснащений датчиками й розподілом ймовірностей справжніх і помилкових цілей на сцені

бою, неможливо точно вказати справжнє число цілі. За допомогою розрахунку ймовірності її можна перетворити на ймовірність того, що принаймні певна кількість цілей піддається удару [15].

Щоб виконати наведені вище розрахунки, ми повинні спочатку знати ймовірність того, що певна кількість справжніх цілей буде атакована. Оскільки всі БПЛА будуть використані, якщо всі боеголовки виконують завдання атаки до певного часу, то БПЛА більше не зможе виконувати завдання після цього. Таким чином, для виконання безпілотником розвідувально-ударного завдання розрахунок визначеної кількості ймовірностей реальної атаки на ціль слід чітко відокремлювати від двох випадків виконання бойових завдань, які залишаються, і боеголовок, що залишилися:

1. Постріл відбувся ($t + f = w$)

Завдяки розширенню можна отримати, що в зоні A_S є t реальні цілі та f фіктивні цілі, які піддаються атаці, і ймовірність того, що всі боеголовки будуть використані безпілотником, $P_{t,f}^{t+f=w}(A_S)$ може бути отримана в зоні A_S , атакуючи t справжні цілі та помилкові цілі f . Ймовірність є

$$P_{t,f}^{t+f=w}(A_S) = \lambda_{A_T}^{w-t} \lambda_{A_{FT}}^{w-t} \frac{w}{(t)!(w-t)!} \int_0^1 \left\{ e^{-(\lambda_{A_T} + \lambda_{A_{FT}})x} x^{w-1} \right\} dx$$

2. Ще залишилася боеголовки ($t + f = w$). У зоні А ймовірність атаки на фіктивну ціль становить

$$P_{(*),f}^{(w)}(A_S) = P \left(\bigcup_{t=0}^{w-f} \{M_{t,A_S} \cap F_{f,A_S}\} \right) = \sum_{t=0}^{w-f-1} P_{t,f}^{(t+f < w)}(A_S) + P_{t,f}^{(t+f=w)}(A_S) \#$$

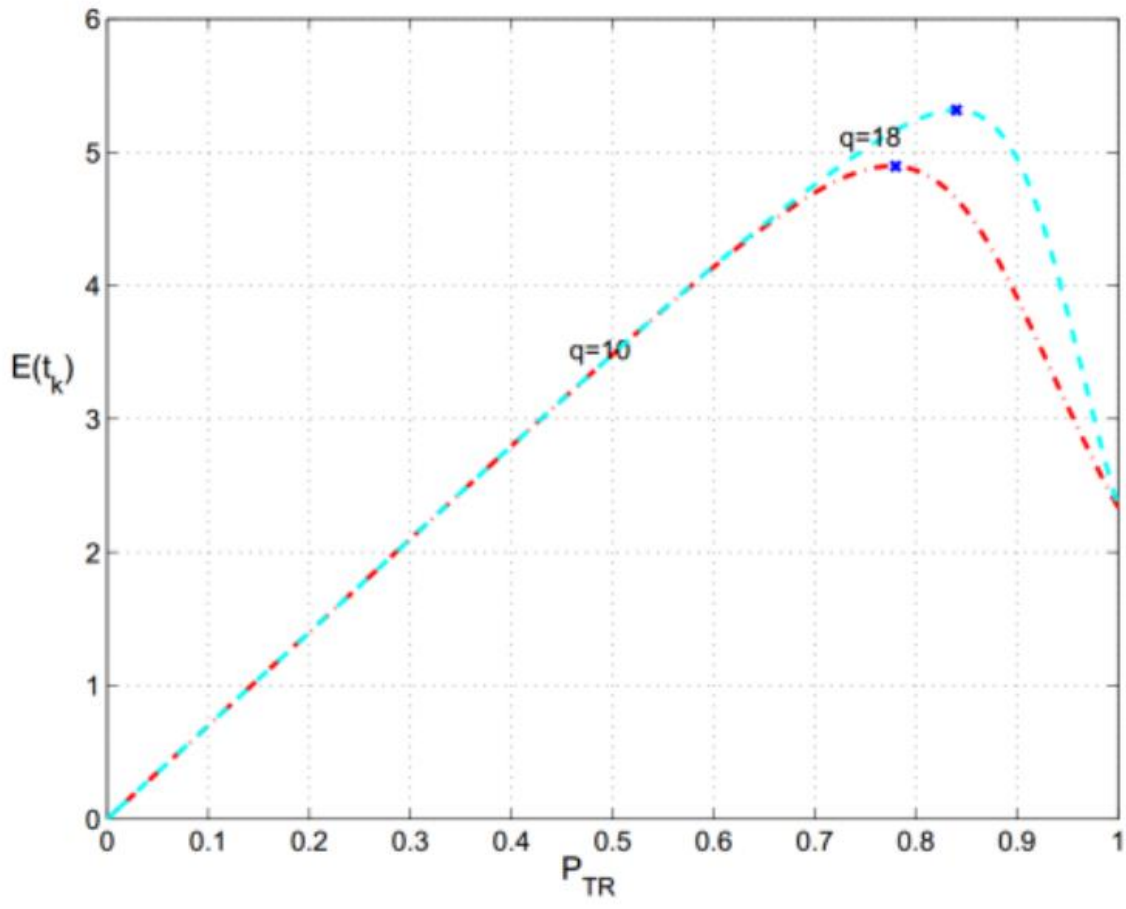
Попередньо було виведено ймовірність атаки БПЛА на кілька справжніх і помилкових цілей у визначеній зоні бойових дій A_S та його математичне сподівання. далі буде проведено чисельний аналіз моделювання

застосування виведеної формули для підвищення бойової ефективності БПЛА.

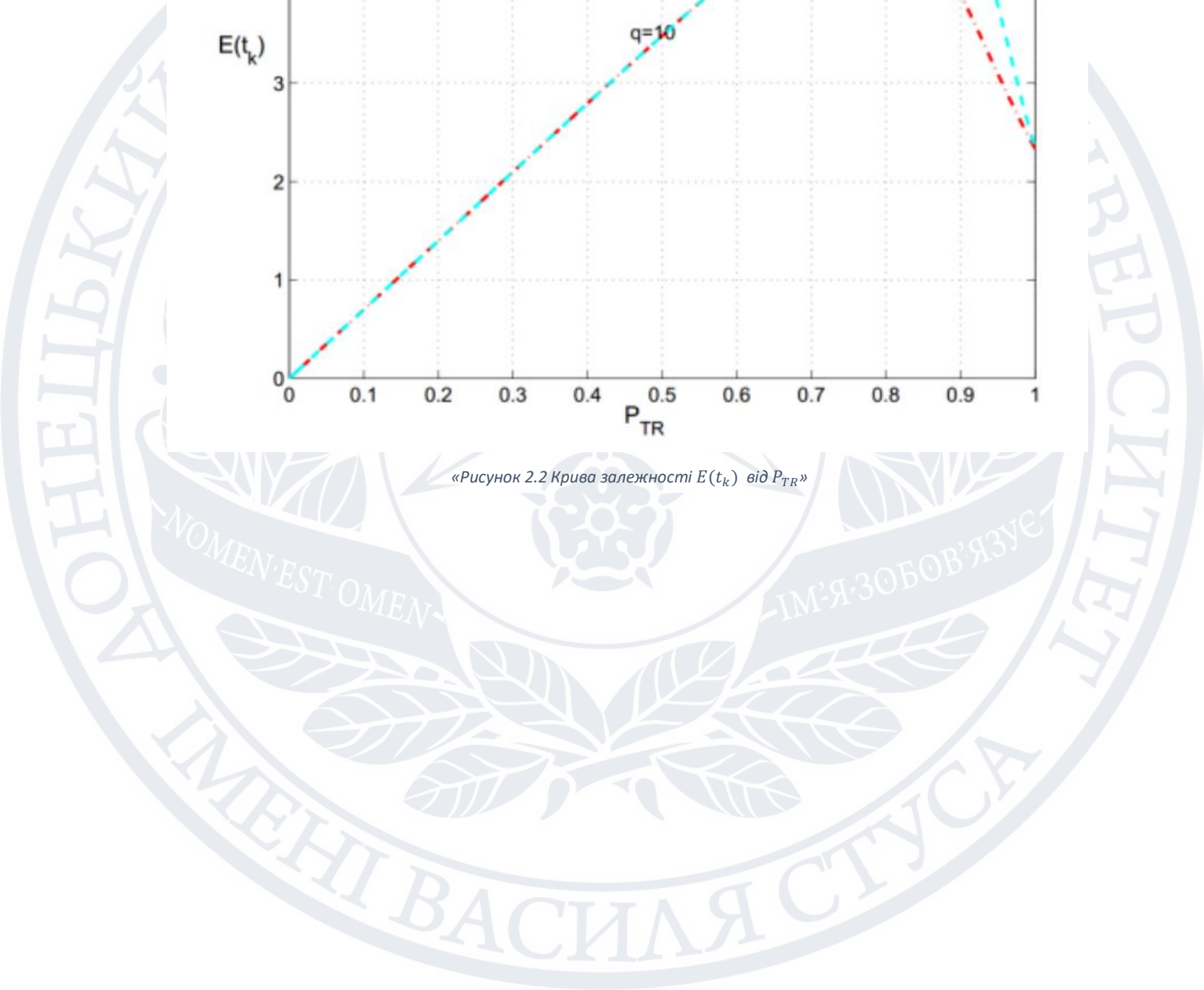
2.4. Аналіз моделювання вимірювання бойової ефективності

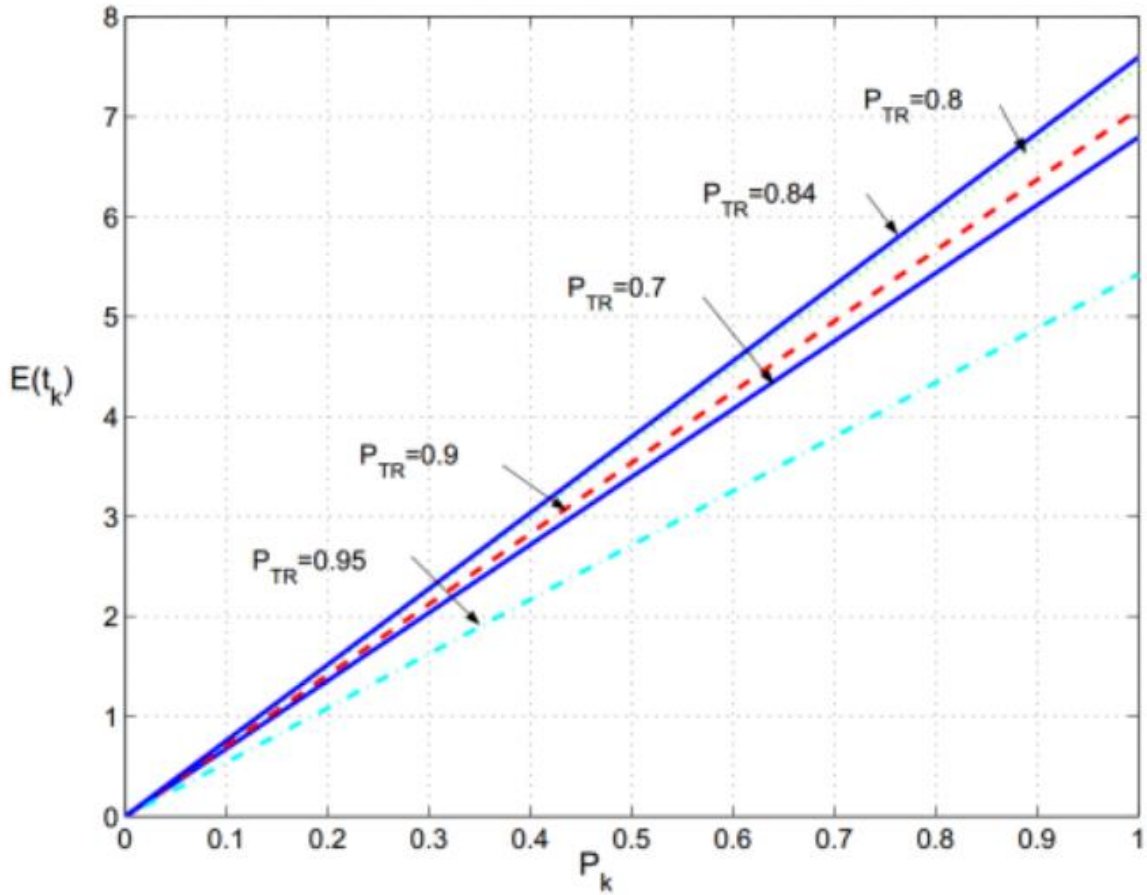
При розробці БПЛА для розвідки і бою в основному необхідно проаналізувати параметри, що впливають на бойову ефективність, такі як параметри датчиків і кількість боеголовок. Підвищення оперативної ефективності БПЛА в розвідці та бою полягає у дослідженні того, як налаштувати параметри, щоб вони могли атакувати якомога більше реальних цілей, і в той же час зменшити атаку на помилкові цілі (побічні пошкодження).

Для забезпечення здатності БПЛА здійснити атаку на бойову ціль під час виконання завдання атаки визначається параметр P_k наявності боекомплекту. Ефективність бойової частини P_k вказує на ймовірність нападу БПЛА на ціль і успішного знищення бойової цілі. Визначення $E(t_k)$ представляє математичне сподівання ураження справжньої цілі та успішного знищення цілі атаки, тоді $E(t_k) = P_k E[t]$



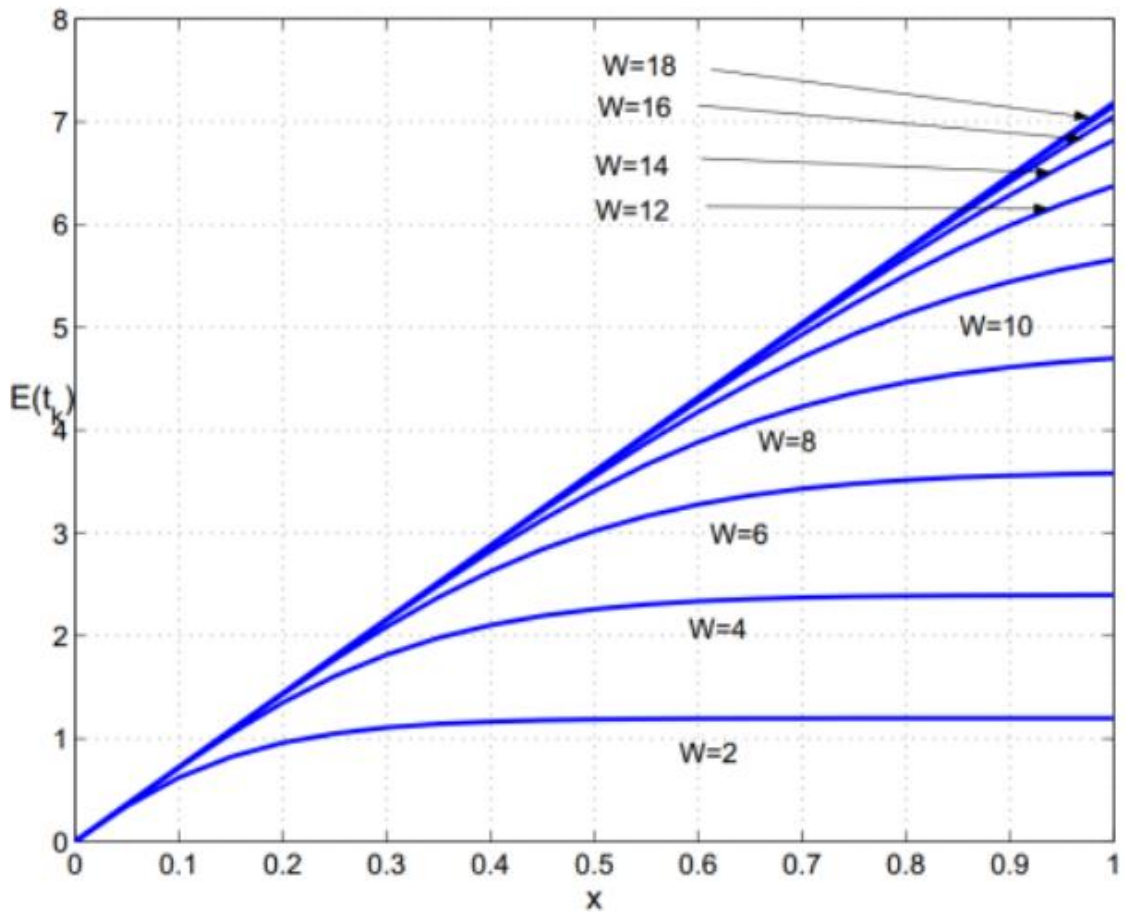
«Рисунок 2.2 Крива залежності $E(t_k)$ від P_{TR} »





«Рисунок 2.3 Крива залежності $E(t_k)$ від P_k »

Як показано на рис, ми встановлюємо відповідний параметр $w = 10$, $\lambda_{FTR} = 20$, $\lambda_t = 10$, $P_k = 0,8$, $x = 1$, і вивчаємо взаємозв'язок між істинною ймовірністю інтерпретації q та P_k , коли параметр $E(t_k)$ кривої ROC оптичного датчика, що встановлено на БПЛА, становить 10 і 18 відповідно. З графіка моделювання для датчика $q = 18$ ймовірність атаки на помилкову ціль більше, ніж $P_k > 0,84$, зростає швидше, ніж ймовірність атаки на ціль; якщо з якоїсь причини обмеження $P_k \leq 0,7$, ми вибираємо дешевий датчик з $q = 10$



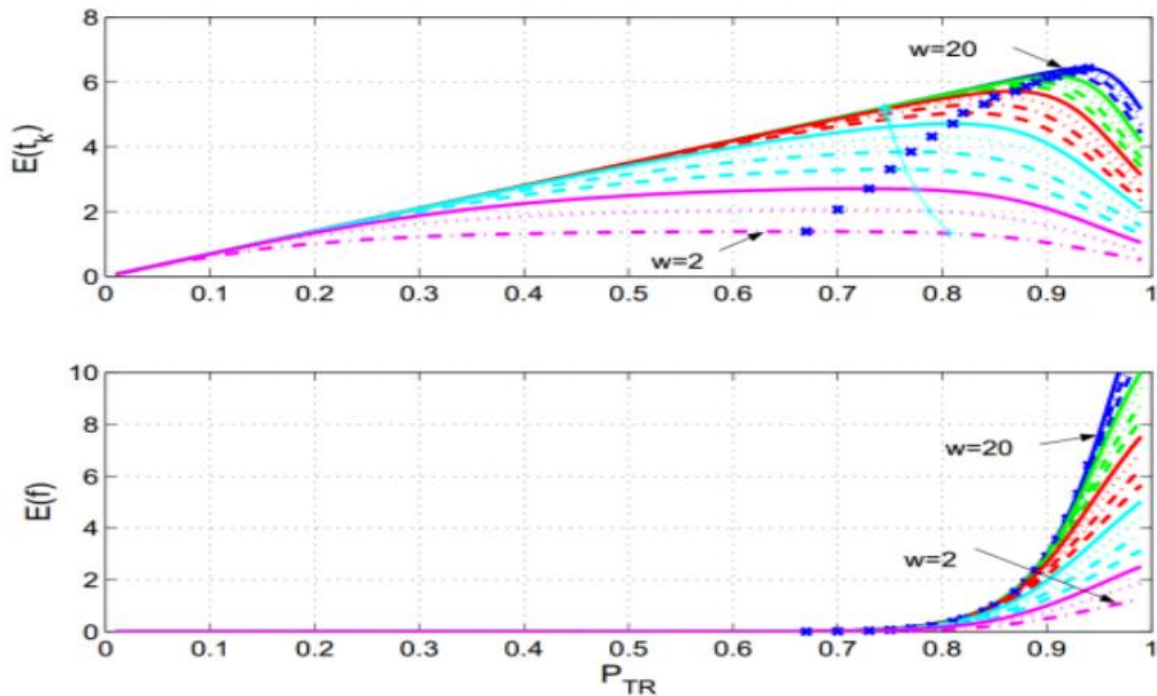
«Рисунок 2.04 Крива залежності $E(t_k)$ від x »

На рис вище ми встановлюємо параметр $w = 10$, $q = 18$, $\lambda_{FTR} = 20$, $\lambda_{TR} = 10$, $x = 1$ і надаємо значення ймовірності інтерпретації справжньої цілі P_{TR} , залежність між ефективністю бойової частини P_k і знищенням моделюється цільове сподівання $E(t_k)$, і змінення лінії моделювання вказує, що коли $P_{TR} \leq 0,84$, $E(t_k)$ має найвище значення, а також показує, що $E(t_k)$ та P_k майже лінійні.

При моделюванні $P_k - E(t_k)$ було встановлено $w = 10$. Те саме можна отримати, коли $w = 18$ і $P_{TR} = 0,92$, інші налаштування параметрів залишаються незмінними, очікувана кількість влучань в ціль $E(t_k)$ найкраща.

Встановимо $P_{TR} = 0,92$ для подальшого моделювання, щоб вивчити взаємозв'язок між w та очікуваною кількістю влучань в ціль x , коли кількість

боєголовок $E(t_k)$ залишається постійною. Ми встановлюємо відповідний параметр $w = 18$, $q = 20$, $\lambda_{FTR} = 10$, $\lambda_{TR} = 0,8$ для моделювання аналізу зв'язку між x і $E(t_k)$, і отримуємо цифру 6 для чисельного моделювання, яку можна легко отримати з фігура. Коли $w = 14$, очікувана кількість вбитих цілей $E(t_k)$ є відносно оптимальною

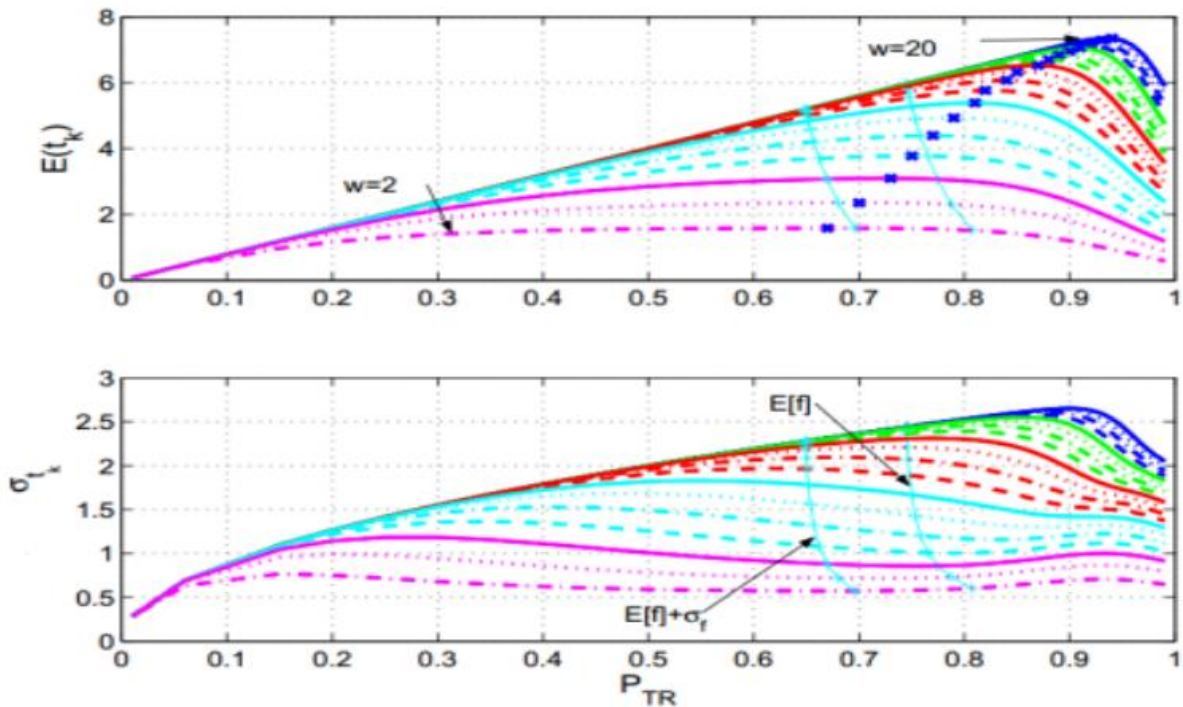


«Рисунок 2.5 Криві залежності $E(t_k)$ та $E(f)$ від P_{TR} »

У наведеному вище аналізі розглядалися лише ефекти P_{TR} , q і w на очікувану кількість знищених справжніх цілей $E(t_k)$, а помилкове вбивство помилкових цілей не розглядалося. Однак у практичних застосуваннях помилкове вбивство та ураження помилкових цілей еквівалентно супутньому збитку і не впливає на підвищення бойової ефективності розвідувальних і бойових БПЛА. Таким чином, для ефективного підвищення бойової ефективності БПЛА також необхідно розглянути можливість мінімізації знищення помилкових цілей або зменшення кількості помилкових знищень.

Для вивчення впливу помилкового ураження цілей на бойову ефективність було введено поріг помилкового ураження $E[f]$, який може

ввести кількість уражень помилкових цілей у певний діапазон. За вказаних умов встановіть параметри кореляції між $q = 18$, $\lambda_{FTR} = 20$, $\lambda_{TR} = 10$, $P_k = 0,8$, $E[f] \leq 0,1$, чисельним моделюванням $E(t_k)$, $E[f]$ та істинною ймовірністю зчитування цілі P_{TR} , налаштуємо кількість боєголовок $w(w = 2 : 20)$ і виконаємо чисельне моделювання, щоб отримати наступний рисунок



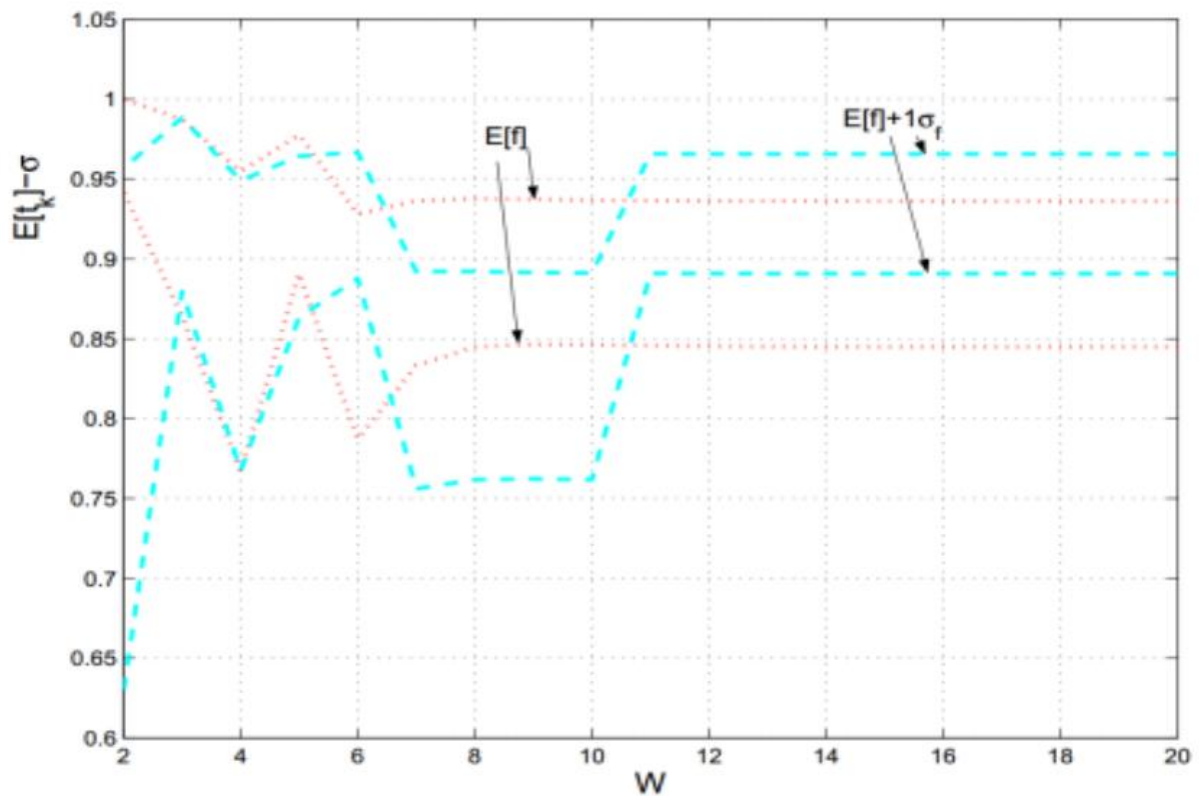
«Рисунок 2.6 Криві залежності $E(t_k)$ та σ_{t_k} від P_{TR} »

На рисунку вище позначено точку максимального значення на кривій $P_{TR} - E(t_k)$. Результати моделювання показують, що зі збільшенням кількості боєголовок w збільшується значення $E(t_k)$. Проте у реальних умовах на полі бою кількість фальшивих цілей набагато більша за кількість справжніх. Кожна крива змінної w матиме точку максимуму. Оскільки P_{TR} продовжує зростати, кількість цілей для вбивства різко зросте, що призведе до зміни кривої $P_{TR} - E[f]$.

Встановлюючи порогове значення цільової кількості для знищення та стримування, тобто $E[f] \leq 0,1$, можна отримати діагональну лінію кожної кривої на діаграмі зміни кривої $P_{TR} - E(t_k)$, яка представляє обмеження $E[f] \leq 0,1$ на знищення помилкової цілі. Варіаційна крива зліва від вертикальної діагональної лінії не задовольняє умові порогового обмеження. За умови дотримання обмеження P_{TR} продовжує зростати, що призводить до зменшення $E(t_k)$. Особливо, коли кількість боєголовок $w = 12$, збільшення кількості боєголовок w має менший вплив на збільшення $E(t_k)$, тому при розробці БПЛА, здатного до розвідки та ведення бою, БПЛА можна дозволити нести до 12 боєголовок.

Крім того, для забезпечення достовірності вищенаведеного дослідження введено дисперсію σ_k очікуваного значення $E(t_k)$ справжньої кількості знищення цілі та дисперсію f очікуваного значення кількості знищення хибної цілі. Дослідимо криву між $E(t_k)$, σ_k та вірогідністю справжньої цільової інтерпретації P_{TR} за тих самих умов налаштування параметрів, щоб визначити стабільність наведених вище результатів дослідження. Встановимо $q = 18$, $\lambda_{FTR} = 20$, $\lambda_{TR} = 10$, $P_k = 0,8$, $E[f] \leq 0,1$ збільшити очікуваний поріг $E[f] + \sigma f \leq 0,1$ кількості помилкових цілей і відрегулювати кількість боєголовок $w(w = 2 : 20)$ рівномірно. Результати чисельного моделювання: $P_{TR} - E(t_k)$. $P_{TR} - E[f]$ – крива змінюється на наступному рисунку.

На рис. 1.8, завдяки додаванню умови обмеження дисперсії, що включає очікувану кількість помилкових знищених цілей, той самий метод, що описаний вище, може бути використаний для отримання двох ліній обмежень, однієї для обмеження $E[f] \leq 0,1$ і інше для $E[f] + \sigma f \leq 0,1$



«Рисунок 2.7 Крива залежності $E(t_k)-\sigma$ від w »

Чисельне моделювання не моделювало криву зміни $P_{TR} - E[f]$. Щоб досягти порогової межі $E[f]$, параметри кривої DDROC датчика необхідно налаштувати, але через зменшення P_{TR} буде спричинено значне зниження $E(t_k)$. Щоб врахувати вплив дисперсії, обчисліть $E(t_k)$ для будь-якого заданого значення P_k , w та змодельюємо задане значення $E(t_k)$ і кількість боєголовок w , щоб отримати результат, показаний на рисунку вище

На рис. вище графік зміни кривої може більш прямо показати вплив двох пар ліній обмеження $E(t_k) - \sigma$. Видно, що при отриманні $w = 12$, $E(t_k)$ є найбільшим, а бойова ефективність у цей час відносно оптимальна. Якщо кількість боєголовок продовжує збільшуватися, w практично не впливає на підвищення бойової ефективності. Видно, що $w = 12$ – оптимальна кількість боєголовок.

Щоб перевірити корисність та актуальність цього методу, ми порівнюємо його з методом невизначеної комплексної оцінки та методом

SEA. Встановлюємо кількість бойової частини $w = 12$, ймовірність інтерпретації реальної цілі обираємо на рівні $0,84 P_{TR}$, параметр кривої ROC датчика $q = 10$. За цих умов результати оцінки ефективності трьох методів такі:

Таблиця 1.2 – підсумовування результатів та порівняння з результатами інших досліджень

	Умови	Представлений метод	Невизначеної комплексної оцінки	SEA
$E(t_k)$	$w = 12$	0,97	0,93	0,88
	$P_k = 0,84$	7,5	6,9	7,4
	$q = 10$	4,88	4,68	4,66

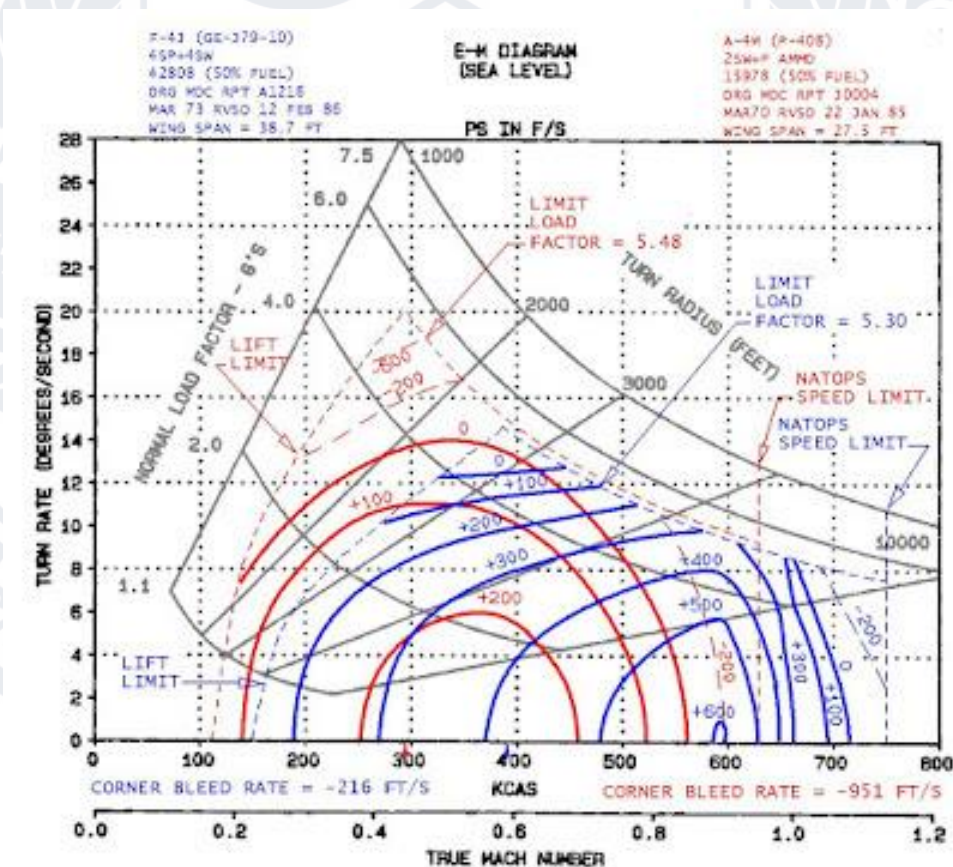
З наведеної вище таблиці можемо побачити, що метод вимірювання бойової ефективності БПЛА в невизначеному середовищі наведений в цьому дослідженні є більш ефективним, ніж метод невизначеної комплексної оцінки та метод SEA.

Висновок по другому розділу

В даному розділі було розглянуто один з варіантів теоретичного вимірювання бойової ефективності розвідувально-військового безпілотної літального апарату. В результаті при порівнянні отримали результати кращі від більш класичних варіантів комплексної оцінки та SEA-методу.

РОЗДІЛ 3. ДЕЯКІ З ВАРІАНТІВ ВИЗНАЧЕННЯ БОЙОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИНИЩУВАЧА

У перші роки розвитку реактивної авіації більшість показників продуктивності винищувачів, які використовувалися для оцінки проектів, були однозначними показниками. Такі речі, як максимальна швидкість або вимірювання часу до висоти. Ситуація змінилася в 1960-х роках з появою теорії енергетичної маневреності. Діаграми Е-М (тобто «Енергія – Маневреність») [12], що відображають контури залежності питомої надлишкової потужності від швидкості та швидкості повороту для кожного літака, дозволяли графічно відобразити та порівняти всю габаритну зону польоту. Це було частиною революції в оцінці та проектуванні реактивних винищувачів.



«Рисунок 3.1 Приклад діаграми енергії-маневреності з порівнянням реактивних винищувачів F-4 та A-4 США»

Однак наприкінці 1980-х років нове покоління комп'ютерів уможливило нове різновид показників маневреності та продуктивності винищувача – показників, які об'єднували різні елементи льотних характеристик літака в єдину метрику. Такі показники, як час бойового циклу (ССТ), графіки динамічного повороту швидкості (DST) і відносний енергетичний стан (RES), стали альтернативними показниками ефективності і, на думку їх прихильників, кращими цифрами якості.

Деяке розуміння того, що ці нові показники приносять до таблиці, можна отримати, дослідивши обчислення одного такого показника: ССТ – час бойового циклу (від англ. Combat Cycle Time). Час бойового циклу вперше був запропонований у 1966 році [12]. ССТ представляє час, потрібний літальному апарату для виконання повороту (зазвичай на 180 градусів) і відновлення енергії, втраченої під час виконання цього повороту. Це можна розділити на такі кроки:

$$\text{ССТ} = t_1 + t_{21} + t_{22} + t_3 + t_4,$$

де T_1 – час перекручування та виходу на максимальне перевантаження

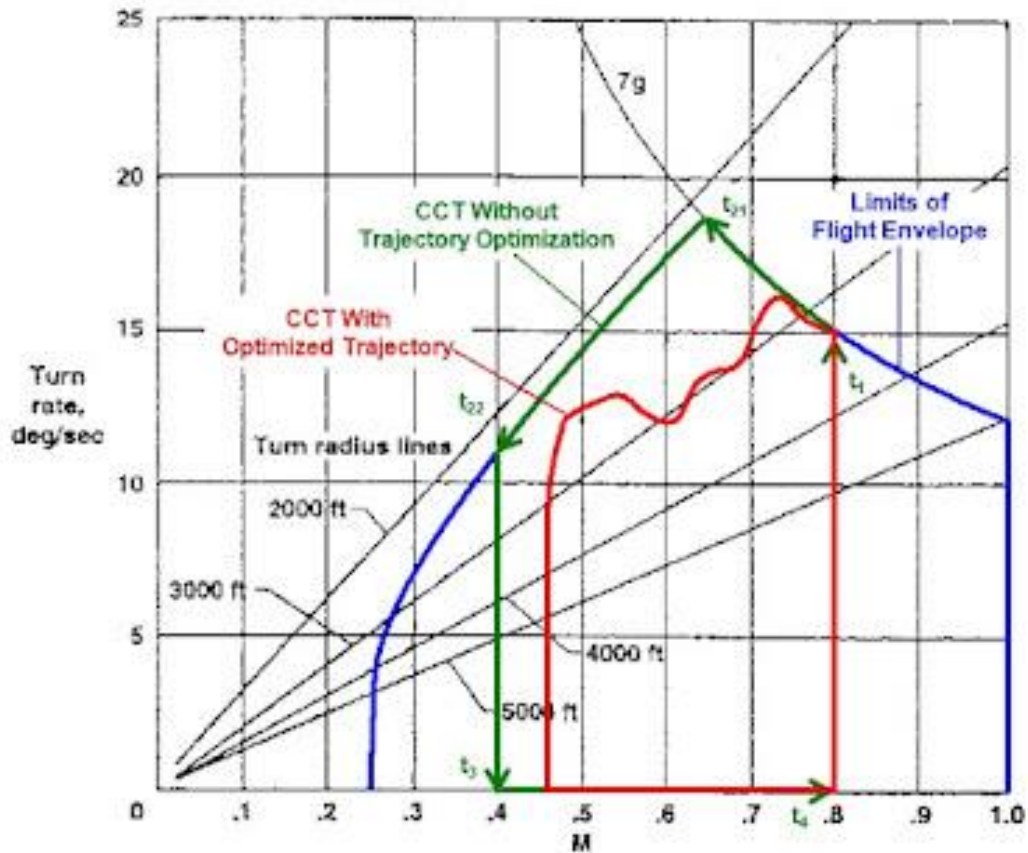
t_{21} - час розгону до максимальної поворотної швидкості

T_{22} - час до виходу на нову траєкторію польоту

T_3 - час для виходу на нормальне перевантаження

T_4 - час для відновлення рівня енергії маневру

Ранні дослідження ССТ [4] припускали, що кожен літальний апарат, який аналізується, буде наближатися до своїх «контурів». На практиці, однак, мінімальний час для повороту та відновлення енергії часто виявляється при дещо нижчих швидкостях обертання, що ефективніше зберігає енергію. Тому для справжнього порівняння різних конструкцій потрібен оптимальний аналіз траєкторії.



«Рисунок 3.2 Аналіз оптимальної траєкторії допомагає зменшити CCT на 20+ відсотків»

Приклад такого порівняння наведено в дослідженні [12], У цьому дослідженні порівнювали характеристики літаків/випишувачів McDonnell Douglas F/A-18 Hornet (США), Grumman X-29 (США) і Rockwell-MBV X-31 (США) [16] під час моделювання розвороту на 180 градусів. Початкові умови були зафіксовані на швидкості у 0,8 Маха (приблизно 960 км/год) та висоті приблизно 4600 метрів (15 000 футів) для кожного літака, і кожен літак мав обмеження на зміну висоти не більше ніж на 762 метрів (2 500 футів). Щоб зробити порівняння більш узгодженим, кожен літак був обмежений максимальним коефіцієнтом перевантаження у 7g, та була проаналізована актуальна траєкторія, щоб гарантувати, що кожен літак досяг мінімального ССТ.

Таблиця 3.1 – Таблиця порівняння характеристик трьох випишувачів

Модель літака	Навантаженість крил, фунт/фут ²	Коефіцієнт максимального підйому	Максимальна швидкість розвороту, град./с.	Коефіцієнт ССТ, с.
F/A-18	77	1,7	19	34,3
X-29	94	1,9	18	42,3
X-31	66	1,12	17	41,0

Порівнюючи ці три літаки, найменший коефіцієнт ССТ був досягнутий F/A-18, літаком, який також мав найвищу миттєву швидкість розвороту. Проте наступний найменший коефіцієнт ССТ був досягнутий X-31, літаком із найменшою швидкістю миттєвого розвороту. Це означає, що ССТ, як і багато інших сучасних показників ефективності, є комбінованою метрикою маневру, що включає елементи як швидкості повороту, так і прискорення, які не можуть бути безпосередньо відображені жодною з більш простих, застарілих методик.

Незважаючи на очевидну корисність такої метрики, сучасні метрики маневру не витіснили своїх більш простих попередників. Значна частина цього пов'язана зі складністю та обчислювальною вартістю цих показників. У той час як оцінки часу до висоти або максимальної швидкості повороту в одній проектній точці є відносно простими та недорогими для розрахунку, показники маневреності сучасного винищувача вимагають набагато складнішої обчислювальної моделі, яка моделює перехідну поведінку літака в діапазоні можливих маневрів та умови навантаження.

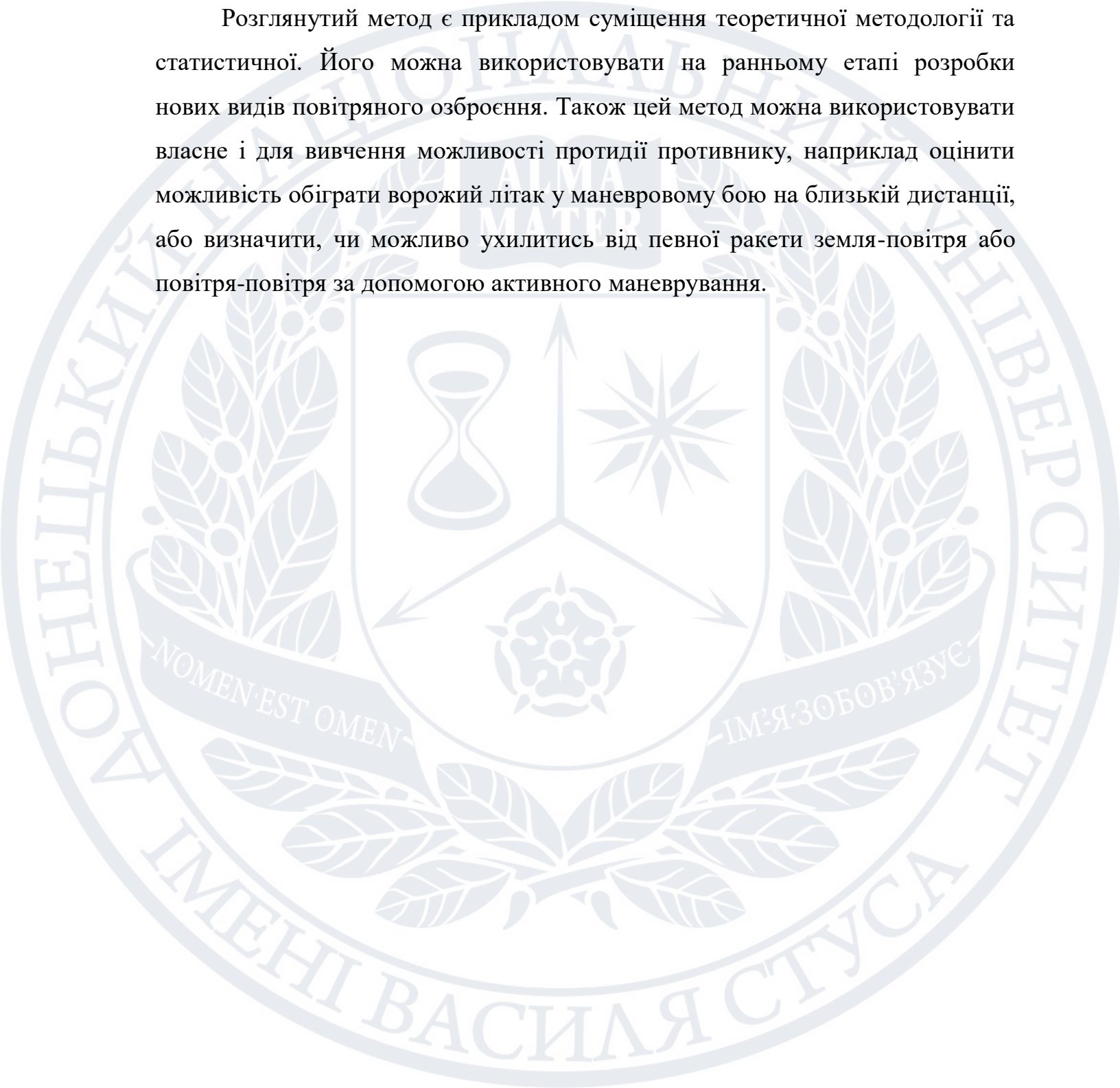
Таким чином, сучасні показники маневреності забезпечують уявлення про сукупний ефект компонентів, які беруть участь у маневрі, але роблять це

з додатковими обчислювальними витратами. Ці показники також обмежуються індивідуальними оцінками щодо одного маневру, припускаючи, що кожен окремий пілот вирішив би виконати той самий еквівалентний маневр, навіть керуючи різними літаками. Це відрізняється від діаграм E-M, які показують надлишкову енергію кожного літака, але роблять припущення щодо того, як кожен пілот використає цю енергію. Таким чином, показники маневреності сучасного винищувача доповнюють, але не замінюють традиційні показники ефективності.

Підводячи підсумок, базова корисність кожного показника продуктивності – відносно його обчислювальних витрат – є суб'єктивним показником. Більш детальні показники вимагатимуть більш складних і точних обчислювальних моделей для обчислення. Показники єдиної проекційної точки все ще є одними з найпростіших для обчислення – і все ще дають недороге перше уявлення про характеристики літака. Діаграми E-M, як і раніше, надають комплексне уявлення про ефективність – у всьому діапазоні польоту – без попереднього припущення, яку форму маневру може здійснити кожен пілот чи кожен літак. Тому вони залишатимуться безцінним інструментом протягом багатьох років. Більш сучасні показники маневреності пропонують додаткове розуміння комбінованих ефектів різних компонентів маневру, але потребують значно більших обчислювальних інвестицій. І зрештою, повнофункціональні пілотні симуляції залишаться золотим стандартом для оцінки переваг нових технологій і альтернативних дизайнів. Вони продовжуватимуть пропонувати найповніший доступний інструмент оцінки, за винятком створення та польоту кожного окремого літака.

Висновок по третьому розділу

Розглянутий метод є прикладом суміщення теоретичної методології та статистичної. Його можна використовувати на ранньому етапі розробки нових видів повітряного озброєння. Також цей метод можна використовувати власне і для вивчення можливості протидії противнику, наприклад оцінити можливість обіграти ворожий літак у маневровому бою на близькій дистанції, або визначити, чи можливо ухилитись від певної ракети земля-повітря або повітря-повітря за допомогою активного маневрування.



РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ РАКЕТ ТА ДРОНІВ В РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКІЙ ВІЙНІ

4.1. Повітряні удари російських терористичних військ

Російський удар 24 лютого 2022 року включав близько 100 крилатих ракет повітряного базування (КРПБ), запущених з російських стратегічних бомбардувальників, що вилітали території Російської Федерації та Республіки Білорусь. Цей стартовий удар росіян був малопотужним, а, якщо точніше, завдяки правильним обманним операціям Генерального Штабу ЗСУ більша частина ракет була або перехоплена, або влучила по підставним цілям.

Так, згідно з інформацією з відкритих джерел, в Україні є вісім баз винищувальної авіації: одна база БПЛА, три бази авіаційного транспорту, 10 баз ППО (здебільшого це системи С-300 радянських часів) і 12 цивільних аеродромів або аеродромів загального призначення, потенційно придатних для використання ЗСУ. Задля завоювання абсолютного панування в повітряному просторі потрібно знищити більшу частину засобів ППО та бойову авіацію противника. Влучним прикладом такого панування в повітрі можна вважати Шестиденну Війну, коли Повітряні Сили Ізраїлю серією ударів по базам ППО та аеродромам захопили безумовне панування в повітрі, що дало їм змогу і на землі діяти набагато ефективніше [1]. Проте Повітряні Сили та ракетні війська ЗС РФ не змогли цього зробити в перші дні та тижні повномасштабного вторгнення [25], а через 9 місяців російська авіація взагалі перестала залітати за лінію фронту. З огляду на те, що на кожну ціль в середньому відведено менше трьох ракет, здається, що удар Росії був надто слабким, щоб досягти поставленої агресором мети. Є ознаки того, що російський ракетний удар погіршив оперативні можливості ЗСУ, але, на щастя, більша частина сил ППО та авіація Повітряних Сил не постраждала

від перших обстрілів та прийняла бій за панування в повітряному просторі України, який згодом виграла [2].

Проте безсумнівно, що російський удар, на жаль, мав значний ефект, як це видно з подій у Румунії, коли український винищувач здійснив аварійну посадку через пошкодження його рідної авіабази, яка завадила йому приземлитися (пізніше винищувач отримав дозвіл на посадку та повернення в Україну). Близько п'ятої години ранку 24 лютого 2022 року російські крилаті ракети завдали удару по злітно-посадковій смузі транспортної авіабази в місті Озерне, що призвело до її непридатності та зупинило передислокацію українських аеромобільних сил швидкого реагування.

Через кілька годин після попереднього авіаудару РФ розпочала масштабну операцію з метою захоплення аеропорту «Антонов» в місті Гостомелі, що біля Києва. На відео, завантажених у соцмережі [3], видно, як десятки російських вертольотів у супроводі ударної групи летять у бік Гостомеля над дахами приватного сектору десь на Київщині. На відео, оприлюднених російськими агресорами, видно, як російських спецназівців висаджують у периметрі аеропорту «Антонов» (місто Гостомель). Зрозуміло, що російське військове командування не розпочало б таку масштабну повітряно-десантну операцію, якби не було переконане, що воно досягло панування в повітрі, принаймні локально. Тим не менш, дані свідчать про те, що Повітряні Сили ЗСУ були активними вже в той час, незважаючи на попередній удар РФ, і їм вдалося протидіяти російському повітряному прикриттю, збивши декілька російських винищувачів. Крім того, на оприлюднених ЗМІ кадрах видно, як українські бомбардувальники атакують російських окупантів у Гостомелі. Збройним Силам України до вечора того дня вдалося відбити аеропорт «Антонов». На жаль, наступного дня він був знову зайнятий російською бронетехнікою, яка наступала від білоруського кордону. Тим не менш, енергійний український опір зумів зробити злітно-

посадкові смуги аеропорту «Антонов» непридатними для транспортування російських військ, тим самим зірвавши російський план виграти війну одним ударом, висадивши спецназ в «Антонові», який міг би швидко захопити столицю країни Київ, виконавши таким чином агресивні плани МО РФ. Здається, що нездатність росіян знищити ВПС ЗСУ під час першого ракетного удару, на щастя, зіграла значну роль у невдачі РФ досягти швидкого успіху у своїх загарбницьких планах.

Таким чином, спроба РФ знищити повітряний потенціал України на самому початку війни – російська версія ізраїльської операції «Фокус» [1], яка знищила арабські військово-повітряні сили на початку шестиденної війни в 1967 році – була, на щастя, неуспішною. Що стало причиною такої невдачі? Однією з натяків є супутникова фотографія, опублікована в західних ЗМІ, на якій видно українську злітно-посадкову смугу з трьома свіжими кратерами на місцевості навколо. Сама ж злітно-посадкова смуга недоторкана і цілком справна. За словами анонімного джерела в ВПС США, багато російських крилатих ракет «не запустили, не влучили або не вибухнули після удару». Результатом цього стало те, що Повітряним Силам ЗСУ вдалося зберегти значну міру бойової спроможності в перші дні війни.

Проте росіяни продовжували намагатися підірвати бойову міць Повітряних Сил ЗСУ шляхом постійної спроб руйнування справних злітно-посадкових смуг по всій Україні. Наприклад, 6 березня вони завдали масованого терористичного ракетного удару, ціллю якого став комерційний аеропорт у місті Вінниця. 13 березня вони обстріляли Луцький аеропорт на північному заході України, а потім зруйнували міжнародний аеропорт Івано-Франківська. Невеликий аеропорт міста Дніпро було зруйновано 10 квітня. Зрозуміло, що всі ці операції з використанням крилатих ракет були спрямовані на те, щоб позбавити ЗСУ злітно-посадкових смуг, які могли б

використовуватися для дій. Чому росіяни не знищили ці цілі під час першого удару 24 лютого, залишається загадкою.

На думку автора, так сталося через низький рівень електронної розвідки в РФ: чимало ракет влучили в чисте поле, в об'єкти, що раніше використовувалися військовими (ще за часів СРСР), або у фальшиві цілі; тобто поєднання добре продуманого обману зі сторони Міноборони України, та низький рівень освіченості МО РФ стосовно місцезнаходження реальних об'єктів ЗСУ в сумі допомогли зменшити деструктивні можливості окупантів. Тим не менш, складається враження, що кумулятивний ефект кампанії зі знищення злітно-посадкових смуг, доповнений систематичним терористичним знищенням паливних сховищ по всій країні, суттєво підбиває здатність ЗСУ давати відсіч. Наприкінці квітня бойовий пілот ЗСУ розповів американському інтерв'юєру, що решта винищувачів ЗСУ використовують ділянки злітно-посадкових смуг без кратерів для зльоту та посадки, встигаючи виконувати малу кількість вильотів, приблизно від 5 до 10 на день – невелика кількість, яка має більше символічний, ніж оперативний ефект.

Але все ж таки не треба забувати, що, за прогнозами більшості аналітиків, повітряні сили російських терористів мали здобути безапеляційне панування в повітрі максимум через тиждень після повномасштабного вторгнення, проте цього не просто не сталося, – наразі російські пілоти бояться залітати далі, ніж на прифронтову територію, і навіть там їх, на щастя, постійно збивають з ПЗРК. Натомість українська авіація все ще регулярно виконує бойові завдання, як з вогневого ураження наземних військ ворога, так і з протидії атакам крилатих ракет.

Схоже, що українська система ППО також була незначно пошкоджена першим ударом 24 лютого, а також наступними атаками росіян. Про те, що багато українських засоби ППО таки вціліли, свідчить повне небажання російських ВПС діяти в небі України, наразі вони діють лише у прифронтовій

смузі. На прохання Міністерства Оборони України батарею з 4 пускових установок С-300П та радару надали східноєвропейські сусіди, які все ще експлуатують цю стару, але актуальну систему радянського зразка.

Таким чином, хоча силами РФ в основному вдалося ускладнити виконання операцій пілотованими літаками ЗСУ, терористам, на щастя, досі критично не вистачає (на кінець осені 2022) хоча б часткового контролю над повітряним простором України, особливо на малих висотах, які знаходяться в радіусі дії ПЗРК бійців ЗСУ (що наразі включає в сучасні західні системи, які були надані Україні зі США та європейських країн, а також залишки радянського озброєння). Це свідчення хоробрості та стійкості українських воїнів у боротьбі проти значно (подекуди в 10 разів) кількісно переважаючої російської авіації. Це також демонструє впевненість та банально велику кількість авіації у збройних сил Росії, яка базується на якісній (на початку війни, з часом якісна перевага та кількість сучасних літаків суттєво зменшилася) і кількісній перевазі, а також здатності покривати всю територію України вогнем крилатих і балістичних ракет, а останнім часом додалися ще й дрони-камікадзе «Шахед-136» іранського виробництва.

Таке враження, що основну кількість ударів по позиціях ЗСУ несуть крилаті, а не балістичні ракети. Російські високоточні квазібалістичні ракети ОТРК СС-26 «Іскандер» можуть досягати глибокої території України зі стартових точок у східній частині країни, а також з Білорусі. Фотосвідчення показують їх використання проти військової та цивільної інфраструктури. Проте, здається, бракує доказів ударів «Іскандерами» по об'єктам ЗСУ – можливо тому, що такі атаки не настільки ефективні, як удари крилатими ракетами, а балістичні ракети частіше використовувались для ударів по цивільній інфраструктурі поблизу лінії фронту (Харків, Запоріжжя).

На мою думку, так склалося через те, що в таких умовах дуже вузького вікна для перехоплення перехопити балістичну ракету майже неможливо, і

хоча це не несе ніякого сенсу з військової точки зору, росіяни це використовують як елемент терору проти цивільного населення, на рівні з ударами з реактивних залпових систем. Останнім часом «Іскандери» все більше заміщуються переналаштованими для ударів по наземним об'єктам зенітними ракетами ЗРК С-300.

Перевага крилатих над балістичними ракетами при використанні для ударів по позиціям ЗСУ потребує додаткового аналізу. Відсутність ракет «Іскандер» не є правдоподібним поясненням: росіяни стріляли ними без найменшого натяку на економію на початку вторгнення – 100 ракет було випущено лише за перший тиждень боїв. Можливо, пояснення криється в різних боеголовках, оскільки боеголовки балістичних ракет «Іскандер» зазвичай потужніші. Можливо, крилаті ракети з їх легшими боеголовками зарезервовані для більш м'яких цілей, таких як авіація, тоді як важчі «Іскандери» використовуються проти більш укріплених цілей (або для терору цивільного населення).

Крім широкого використання поточного покоління застарілих високоточних ракет, росіяни використали одну зі своїх передових ракет – гіперзвукову ракету повітряного запуску «Кинджал», яка дебютувала на полях битв вперше. При дальності польоту 2000 км «Кинджал» запускається з дальнього винищувача-перехоплювача МіГ-31 (за класифікацією НАТО: «Foxhound») по звичайній криволінійній (балістичній) траєкторії, але має величезну здатність маневрувати після повернення в атмосферу. Таким чином, «Кинджал» можна запустити у хибному напрямку, але в останню хвилину здійснити маневр та спрямувати ракету в ціль. Це не дозволяє захисникам вгадати намічену ціль або передбачити остаточну траєкторію ракети, роблячи існуючі системи протиракетного захисту (на основі передбачення траєкторії) малоефективними проти цього типу загрози.

Наприкінці березня представник російської армії заявив, що РФ вже застосовувала цю зброю в трьох випадках: для нападу на склад боєприпасів на заході України, для удару по ТЦ в центрі Києва, де, за деякими даними, могли бути приховані РСЗО «Град», а також проти паливних складів у м. Миколаїв. Ракети були запуснені з відстані понад 1000 км. Виправдання росіян для використання таких ракет проти країни, яка не має протиракетної оборони, полягало в тому, що величезна термінальна швидкість «Кинджалу» була важливою для проникнення в бункери та підземні споруди. Таке пояснення не надто переконливо, особливо з огляду на атаку на паливні склади. Більш ймовірно, що росіяни вирішили використати цю передову зброю, а не більш звичайні ракети, щоб викликати ефект «шоку і страху» проти США та їхніх союзників.

4.2. Використання ракетного озброєння Збройними Силами України

Україна має власну ракетну промисловість, і за роки, що передували нинішній війні, вона оприлюднила розробку високоточної бойової ракети. Можна з великою вірогідністю стверджувати, що був використаний принаймні протикорабельний ракетний комплекс наземного базування «Нептун» проти флагмана ЧФ РФ – ракетного крейсера проекту 1164 «Москва». За наявними даними можна стверджувати, що в ніч з 13 на 14 квітня крейсер був уражений двома влучаннями ракет «Нептун». Також в цій операції були залучені БПЛА «Байрактар» ТБ-2, турецького виробництва, які «відволікали» або вивели з ладу системи виявлення ракет. Після ударів ракетами крейсер ще тримався певний час на плаву, але при спробі відбуксирувати крейсер в тимчасово окупований рашистами порт Севастополя він, на щастя, остаточно пішов на дно Чорного моря. Варто зазначити, що «Москва», як флагман флоту, якраз таки мала захищати власне

флот від подібних ракетних загроз, але, очевидно, не впоралася з цим завданням, одночасно перетворивши чорноморський флот на флотилію. Приблизна оцінка цієї втрати для РФ вирахована в ~ 750 млн доларів.

Також існує епізод з вибухами на аеродромі в Новофедорівці, на території тимчасово окупованого півострову Крим. Гарантовано можна стверджувати лише те, що жодна з ракет, що офіційно знаходиться на озброєнні ЗСУ не здатна подолати відстань до аеродрому з будь-якої точки території, що на той час була під контролем ЗСУ.

Якщо відкинути версію диверсії ССО, то теоретично це міг би бути удар однією з наступних ракет. Ракета АТАСМС, запущена з РСЗО М142 «Німари» або М270. Пускові установки на озброєнні ЗСУ вже є, оператори з високою вірогідністю вже навчені використовувати даний тип ракет, проте офіційно передача цих ракет ніколи не підтверджувалась, а навіть заперечувалась.

Український ОТРК «Сапсан» (ОТРК «Грім-2» в експортному варіанті) також теоретично міг нанести удар по Новофедорівці, але у відкритих джерелах немає достатньої кількості достовірної інформації стосовно можливостей даного комплексу. Заявлена дальність польоту в 500 кілометрів цілком підходить для цього удару. Проте не відомо скільки було виготовлено ракет з реальною бойовою частиною, тому складно стверджувати щось стосовно «Сапсану».

Нарешті ПКРК «Нептун». При розробці конструкторами була закладена можливість нанесення ударів по поверхні землі, тож теоретично ці удари міг нанести і «Нептун», але знову ж немає жодної інформації про кількість виготовлених ракет, тому і ця версія не може повноцінно вважатись підтвердженою. До того ж варто зазначити, що немає жодного відео підтвердження того факту, що по Новофедорівці взагалі був нанесений ракетний удар, тож це цілком може бути і диверсія на землі.

Окрім цього, є свідчення того, що Україна використовує радянські ракети СС-21 «Точка-У». За різними даними, станом на початок війни Україна мала близько 500 ракет цього типу і до 90 пускових установок. Ця ракета малої дальності (120-140 км) часто несе протипіхотну касетну боеголовку. Першого березня українська ракета «Точка-У» влучила в порт Бердянськ. Представники російських агресорів стверджували, що сили ППО рашистів перехопили цю ракету, але на зображеннях нібито її уламків немає жодних доказів на підтвердження цієї заяви. Проте на супутникових знімках добре видно уражений та затоплений ВДК «Саратов»:



«Рисунок 4.1 Затоплений БДК Саратов в порту тимчасово окупованого Бердянська»

Виходячи з інформації, наведеної вище, можна стверджувати, що ракета влучила в ціль, та, судячи з відео очевидців, нанесла немало втрат окупантам, детонація боеприпасів в порту продовжувалась достатньо довго, але й без цього знищення великого десантного корабля – це ще одна болюча втрата для чорноморського флоту РФ, орієнтовна вартість «Саратова»

оцінюється в 75 млн. доларів, що значно перевищує вартість ракети «Точка-У», яка оцінюється приблизно в 300 тис. доларів.

Схоже, що крім впливу на інформаційне поле бою, українські балістичні ракети не мали масованого впливу на хід наземних боїв. Першого квітня спалахнула пожежа на нафтобазі в російському місті Белгород, розташованому за 40 км від кордону з Україною. На одному відео зі смартфона видно, як три ракети вриваються в склад, але скоріш за все це були звичайні некеровані ракети, запущені з вертольотів Мі-24, проліт яких над белгородською областю також був зафіксований на відеокамери очевидців. 25 квітня в російському місті Брянськ, що за 150 км від кордону з Україною, одночасно загорілися два резервуари для зберігання нафти. РФ звинуватила в цьому атаки українських вертольотів. Міністерство Оборони України відкинуло відповідальність за подію в Білгороді, але відмовилася коментувати пожежу в Брянську. Деякі оглядачі стверджують, що обидві події були спричинені українськими ракетними атаками «Точка-У». Складно стверджувати, чим саме був нанесений удар по нафтобазі в Брянську, проте на відеозаписах з місця подій точно видно як підлітаючи якийсь об'єкт освітлює навколишню площу, ефект дуже схожий на ракетний двигун.

Таким чином, здається, що, незважаючи на їхню проблематичну надійність і несподівані проблеми з точністю, російські балістичні та крилаті ракети (з яких, за оцінками, було використано понад 4000 станом на кінець осені 2022 року, тобто трохи більше 8 місяців повномасштабної агресії РФ) були, на щастя, не ефективними у придушенні обороноздатності ЗСУ, а також протиповітряної оборони України. Україна на даний момент не має сучасної системи ПРО, але за останній час були здійснені поставки союзниками сучасних систем ПВО, що мають кращі можливості для збиття крилатих та балістичних ракет. За наявними даними, Повітряні Сили ЗСУ достатньо ефективно використовують винищувачі Су-27 та МіГ-29 для знищення

російських крилатих ракет. У телевізійному інтерв'ю 25 квітня анонімний український пілот винищувача заявив, що йому вдалося збити дві з шести крилатих ракет, запущених російським флотом з Каспійського моря по Одесі. Описуючи це як «задовільне досягнення», український льотчик визнав, що ефективніше боротися з крилатими ракетами з землі, і наголосив на необхідності сучасних систем ПРО і протиракетних систем. Не маючи ефективного захисту, українські авіабази, матеріально-технічні центри та склади боєприпасів значною мірою захищені від російських високоточних крилатих ракет глибокого ураження.

4.3. Використання БПЛА

Ще одною важливою особливістю повномасштабної фази російсько-української війни є широке використання БПЛА як силами оборони України, так і силами агресора для отримання візуальної розвідки, а також для ударів з повітря.

2019 року Україна придбала у Туреччини 20 ударно-розвідувальних БПЛА «Байрактар» ТБ-2, який згодом довів свою силу у війні у Нагірному Карабасі 2020 року, а також у інших конфліктах на Близькому Сході та в Північній Африці. Українці використовували їх проти російських загарбників з початку війни. Як і азербайджанці у війні 2020 року, українці також використовували відео з успіхів своїх БПЛА для пропаганди, оприлюднивши екшн-відео, записані камерами «Байрактарів», на яких зображено знищення російської техніки за допомогою керованих бомб. Проте, на відміну від вирішальної ролі БПЛА «Байрактарів» проти ЗС Вірменії у 2020 році, їхній вплив у нинішній битві за Україну виглядає не настільки вирішальним, це відбувається через велику щільність російської системи ППО та радіоелектронної боротьби, що обмежує можливість використання БПЛА після того, як почала вирисовуватись нова лінія фронту після

повномасштабного вторгнення, що дало змогу росіянам збудувати ешелоновану ППО, яка створила певну перешкоду для використання БПЛА. Станом на 12 квітня в турецькому OSINT-блогі ORYX [24] підтверджені фото- та відео-доказами втрати російської мобільної техніки оцінено в 476 танків, 849 БТРів і 787 вантажівок. З них лише 6 бронетранспортерів і 24 вантажівки, але жодного танка не були приписані ударам «Байрактарів». Результати були дещо кращими у знищенні російських мобільних систем ППО: із 25 систем, втрачених Росією, десять були приписані ударам «Байрактарів». Схоже, що оператори «Байрактарів» прагнули наслідувати свою стратегію війни в Нагірному Карабасі 2020 року, коли вони вперше знищили більшість систем ППО ЗС Вірменії.

Можна запропонувати два різні пояснення цього зниження зареєстрованої кількості ударів «Байрактарів». По-перше, більш сучасні російські мобільні системи протиповітряної оборони успішніше, ніж застарілі вірменські, збивали повільно літаючі та вразливі БПЛА «Байрактарів». По-друге, пояснення деяких турецьких спостерігачів полягає в тому, що Міністерство Оборони України вирішили зменшити медійну експозицію своїх бойових БПЛА, щоб відвернути від них увагу РФ.

4.4. Використання комерційних БПЛА

ЗСУ активно використовують безпілотні квадрокоптери. У статті, опублікованій у провідній західній газеті, розповідається про створення кілька років тому в Україні важкого підрозділу квадрокоптерів, укомплектованого волонтерами та ентузіастам. Особовий склад частини розробив власну марку важких 8-гвинтових квадрокоптерів, які могли нести легкі бомби. Засновником цього підрозділу був український фахівець у сфері високих технологій. На початку російського вторгнення значна бронетанкова колона підійшла до Києва з півночі. Український підрозділ аеророзвідки вів

розвідку, пересуваючись вночі на позашляховиках. Бомби з їхніх важких квадрокоптерів знищили передові машини колони, чим зупинили її. Потім квадрокоптери підрозділу зосередилися на знищенні вантажівок з паливом і постачанням у хвості конвою, паралізувавши його на кілька днів. Згідно з цим повідомленням, росіяни намагалися порушити роботу українських БПЛА електронними перешкодами, але час від часу змушені були припинити, щоб дозволити власним БПЛА працювати. Сили оборони України використовують паузи в радіоелектронних перешкодах для запуску власних важких БПЛА.

Окрім воєнізованих важких квадрокоптерів, ЗСУ широко використовують квадрокоптери комерційного класу, які можна придбати у магазині електроніки або навіть дитячих іграшок. Соціальні мережі переповнені зображеннями з камер комерційних БПЛА, на яких зображені російські сили на полі, знищення російської бронетехніки, а також військові злочини, вчинені російськими військами проти українських цивільних. Схоже, що комерційні квадрокоптери роблять поле бою прозорим, унеможлиблюючи приховати військові сили від хмар БПЛА, що літають над полем бою. Їхнє положення та пересування постійно контролюються в режимі реального часу, принаймні в ясну погоду та переважно вдень.

4.5. Аналіз можливостей використання БПЛА ворогом

РФ, у свою чергу, кинула в бій усі свої типи БПЛА. Основним типом для тактичної розвідки є «Орлан-10», піхотний БПЛА для спостереження за супротивником. Одним із типів озброєних БПЛА, представлених МО РФ, є «Форпост», російська версія незброєного ізраїльського БПЛА «Searcher 2», проданого кілька років тому в Росію (на одному оприлюдненому відеоматеріалі показано ізраїльські мітки на приладах збитого «Форпост»). Провідний російський БПЛА з озброєнням, еквівалентний українському

«Байрактару», — «Іноходець» (в експортній модифікації називається «Оріон»). Це досить великий БПЛА, який може нести до 250 кг боєприпасів, включаючи ракети «повітря-повітря» для бойових вертольотів. Принаймні один «Іноходець» був збитий, ймовірно, з українського ПЗРК. Крім того, росіяни показали власний БПЛА-самогубець «КУБ», який зовні нагадує іранський «Шахед-136» з 2019 року удару на саудівську нафтову установку. Проте з огляду на весь цей великий вибір російських БПЛА, їхній вплив на наземну кампанію здається в кращому випадку обмеженим.

З початком осені 2022 року російські війська почали масовано використовувати безпілотники іранського виробництва «Шахед-136». Не зважаючи на достатньо примітивну конструкцію БПЛА перший час вони показували відносно непогану ефективність. На думку експертів, так сталося через те, що українська система протиповітряної оборони за півроку повномасштабної війни добре налаштувалася на протидію крилатим та балістичним ракетам ворога, тому нові безпілотники стали несподіванкою, та знадобився деякий час на відпрацювання надійних алгоритмів протидії таким атакам. Станом на кінець осені, за декілька місяців використання цих БПЛА останнім часом до цілі долітає не більше ніж один-два з десяти запускених.

4.6. Використання надводних дронів силами ЗСУ

29 жовтня 2022 року в бухті міста Севастополь на території тимчасово окупованого півострова Крим пролунали вибухи. Трохи згодом ГУР Міноборони України опублікували відеозаписи з секретних надводних дронів-камікадзе, як дрон наближається до борту фрегату класу «Адмірал Макаров», також напевно був пошкоджений його сестершип фрегат «Адмірал Григорович», ще на відео потрапив мінний тральщик «Іван Голубець». Згодом на платформі для збору пожертв United24 було опубліковано трохи більше інформації, з якої можна зробити висновки, що ця секретна розробка

УкрОборонПрому – морський надводний дрон-камікадзе «Херсон». Точно можна сказати, що дрон обладнаний дистанційним керуванням, камерою з інфрачервоним спектром зйомки та системою двохплощинної стабілізації зображення. Бойова частина дрона лишається таємницею, але можна припустити що в тротиловому еквіваленті це менше ніж бойова частина ракети «Нептун», оскільки фрегати не пішли на дно після влучання. Враховуючи оголошену вартість в 10 млн. доларів за одиницю можна було б зробити висновок про низьку фінансову ефективність дрону. Проте дані OSINT-досліджень та супутникові знімки свідчать про те, що чорноморська флотилія РФ перестала виходити з портів Новоросійська та тимчасово окупованого Севастополя, що свідчить про вкрай великий рівень наляканості російських адміралів, що вочевидь говорить про дуже високу ефективність даної розробки. Також варто зазначити, що атака на порт Севастополя – це перший в світі випадок атаки на морські цілі супротивника із використанням лише безпілотних апаратів як у повітрі, так і на воді, аналогів цьому в історії ще не було.

Висновок по четвертому розділу

Аналіз наявних у відкритому доступі даних приводить до висновку, що навіть попри абсолютну перевагу в кількості, та подекуди перевагу в якості ЗС РФ не змогли завоювати володарювання в повітряному просторі України. Натомість Збройні Сили України, виходячи з набагато скрутніших умов, використовують наявні засоби ураження з максимально можливою ефективністю, знаходячи можливості прорвати оборону ворога, та нанести удар по тилowym комунікаціям та штабам, таким чином наносячи набагато більше шкоди ворогу, ніж при використанні цих засобів ураження «в лоб».

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі було досліджено низку існуючих способів визначення бойової ефективності для повітряної компоненти сучасних збройних сил розвинених країн. Розглянута загальна роль авіації на полі бою, як інструменту досягнення повного вогневого контролю над супротивником, та як наслідок – здобуття переваги в битві. Була розібрана загальна проблема секретності, що характерна для будь-якого дослідження так чи інакше пов'язаного з військово-промисловою темою.

Статистичні методи зосереджуються на аналізі статистики реальних випадків використання різних видів озброєння, та мають на меті порівняння певних вимірних параметрів досліджуваного виду зброї. Це може бути співвідношення ціни виготовлення, ціни обслуговування до фінансової оцінки заподіяної шкоди супротивнику. Статистика втрат, з якої можна отримати співвідношення втрат певного виду озброєння до середньої кількості втрат, що потенційно може бути заподіяна ворогу цією зброєю.

Теоретичні методи, засновані на математичному моделюванні певних видів озброєння, обставин та полів бою, тощо. Способи аналізу цієї групи єдино можливі для нових видів озброєння, яке тільки проходить випробування перед прийняттям на озброєння, або ж для пошуку абсолютно нових способів перемогти супротивника, які можливо навіть ще не досліджені супротивником або союзниками. Завдяки математичним моделям можна розраховувати, наприклад, вірогідність прориву ворожої системи ППО. Розрахувати найбільш ефективний спосіб вразити ворожий об'єкт на полі бою за певних умов, при цьому мінімізувавши власні втрати.

Також в роботі проведено аналіз дев'яти місяців повномасштабної Російсько-Української війни. Використання в цій війні балістичних та крилатих ракет, розвідувальних та ударних безпілотних літальних апаратів, а також БПЛА-камікадзе, як повітряних так і новітніх надводних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. «Six Days of War». Michael Oren. April 2002
2. «Бойова авіація РФ у разі зменшила кількість вильотів, – британська розвідка». Фокус. Грудень 2022
3. «Гелікоптери Мі-24 наносять удар по нафтобазі в Білгороді». УНІАН. Квітень 2022
4. Albin Karlsson. Influence of Design Parameter Variation on Fighter Agility Metrics. Royal Institute of Technology, SE-100 44 Stockholm, Sweden. 2005
5. Allan R. Millett, Williamson Murray. Military Effectiveness, 1986
6. aviationbenefits.org/environmental-efficiency/reducing-noise/
7. Biddle S. D. Військова сила: Пояснення перемоги та поразки в сучасній битві. Princeton: Princeton University Press. 2004
8. Choirat C, Honaker J, Imai K та ін.: Статистичне програмне забезпечення для кожного. Форт Лівенворт, Канзас: Школа передових військових досліджень Командно-штабний коледж армії США, 2016
9. D. van Doren, P. P. J. Driessen, B. Schijf, H. A. C. Runhaar. Evaluating the substantive effectiveness of SEA: Towards a better understanding. Environmental Impact Assessment Review, 2013
10. arpa.mil/program/air-combat-evolution
11. dassault-aviation.com/en/defense/rafale/introduction/
12. Energy-maneuverability (U). Air proving ground center Eglin AFB FL. Unclassified. March 1966
13. Etkin B. Dynamics of Atmospheric Flight. Dover Publications, 2005.
14. Grauer R, Horowitz M. C. What Determines Military Victory? Testing the Modern System. Security investigation, 2012
15. Guifeng Zhang. Effectiveness Evaluation Model of Fixed Wing UAV Based on the Improved ADC. Model [A]. IEEE Beijing Section, Beijing Institute of

Technology (BIT), Chinese Institute of Command and Control (CICC). Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Unmanned Systems (ICUS) [C]. IEEE Beijing Section, Beijing Institute of Technology (BIT), Chinese Institute of Command and Control (CICC): 2017

16. Herbst W. B. X-31A. *SAE International Journal of Aerospace*. Vol. 96, 1987.

17. internationalairportreview.com/article/1907/facing-the-fuel-efficiency-challenge/

18. Cui J., Zhang Y., Ma S. Path planning algorithms for power transmission line inspection using unmanned aerial vehicle. *29th Chinese Control and Decision Conference*. 2017. P. ...

19. Jinhong Chen, Haoting Liu, Jingchen Zheng, Ming Lv, Beibei Yan, Xin Hu, Yun Gao, Nicolas Avdelidis. Evaluation of Earthquake Area Using UAV Aerial image. *International Journal of Aerospace Engineering*. 2016. P. ...

20. Kara I., Bektas T. Integer linear programming formulations of multiple salesman problems and its variations. *European Journal of Operational Research*. 2007. P. ...

21. migflug.com/jetflights/the-combat-statistics-for-all-the-aircraft-currently-in-use/

22. Narang V, Talmadge C. Civil-military Pathologies and Defeat in War: Tests Using New Data. *Journal of Conflict Resolution*, 2018

23. O'Rourke, Ronald & Preece, Richard M, The Persian Gulf and the U.S. Naval Presence: Issues for Congress, August 3, 1987.

24. oryxspioenkop.com/2022/02/attack-on-europe-documenting-equipment.html

25. rusi.org/explore-our-research/publications/rusi-defence-systems/russian-air-force-actually-incapable-complex-air-operations

26. skybrary.aero/articles/aviation-performance-measuring-system-apms

27. Vlassis N. A., Papakonstantinou G., Tsanakas P. Dynamic sensory probabilistic maps for mobile robot localization. *International conference on Intelligent Robots and System*, 1998. P. ...
28. wwiiaircraftperformance.org/
29. Yong Jun Peng, Fei Tan. Applied Technology in Effectiveness Assessment of Communication Equipment Based on ADC. *Advanced Materials Research*, 2014
30. Zengin U., Dogan A. Dynamic Target Pursuit by UAVs in Probabilistic Threat Exposure Map "Unmanned Unlimited" Technical Conference, Workshop and Exhibit. 2004
31. Zhou Ronggang, Chan Alan H S. Using a fuzzy comprehensive evaluation method to determine product usability: A proposed theoretical framework. 2016

ДЕКЛАРАЦІЯ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ

Орлов Сергій Сергійович

Прізвище, ім'я, по-батькові

Інформаційних та прикладних технологій

Факультет

113 Прикладна математика

Шифр та назва спеціальності

Прикладна математика

Освітня програма

ДЕКЛАРАЦІЯ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ

Усвідомлюючи свою відповідальність за надання неправдивої інформації, стверджую, що подана кваліфікаційна (магістерська) робота на тему:

«ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПЛОТНИКІВ ТА РАКЕТ В БОЙОВИХ ДІЯХ»

є написаною мною особисто.

Одночасно заявляю, що ця робота:

- не передавалась іншим особам і подається до захисту вперше;
- не порушує авторських та суміжних прав, закріплених статтями 21–25 Закону України «Про авторське право та суміжні права»;
- не отримувалась іншими особами, а також дані та інформація не отримувались у недозволений спосіб.

Я усвідомлюю, що у разі порушення цього порядку моя кваліфікаційна робота буде відхилена без права захисту або під час захисту за неї буде поставлена оцінка «незадовільно».

_____ (дата)

_____ (підпис здобувача освіти)