

Наукові Методи та Критерії Оцінки Ефективності Інформаційних Технологій в Органах Військового Управління

Розділ 1: Вступ: Концептуалізація Ефективності Інформаційних Технологій у Військовому Управлінні

1.1. Постановка проблеми: Від Автоматизації до Інформаційної Переваги

Впровадження та всебічне використання сучасних інформаційних технологій (ІТ) в управлінській діяльності органів військового управління (ОВУ) є невід'ємною складовою успішного функціонування сучасної армії.¹ Еволюція ролі ІТ у військовій справі пройшла шлях від засобів простої автоматизації рутинних процесів до ключового інструменту досягнення інформаційної переваги на полі бою. Сучасні автоматизовані системи управління військами (АСУВ) забезпечують інформаційно-аналітичну підтримку прийняття управлінських рішень на всіх рівнях, супроводжують функціонування вищих ОВУ та створюють сприятливі умови для управлінської діяльності в цілому.¹

Однак, попри широке впровадження ІТ, існує значний розрив між технологічною насиченістю військ та науковою обґрунтованістю методів оцінки їх реального впливу на бойову ефективність. Аналіз наукових публікацій свідчить, що теоретичні та науково-методичні засади інформаційно-аналітичного забезпечення військового управління та оцінки його ефективності залишаються недостатньо обґрунтованими.¹ Ця невизначеність створює стратегічний виклик: без чіткої, науково обґрунтованої методології неможливо раціонально розподіляти ресурси, визначати пріоритети

розвитку ІТ-спроможностей та об'єктивно оцінювати, чи призводять багатомільярдні інвестиції в технології до реального зростання бойового потенціалу. Таким чином, ключова проблема полягає не у відсутності ІТ-систем як таких, а у відсутності наукового інструментарію для доказової оцінки їхньої цінності для збройних сил.

1.2. Визначення Ключових Понять: "Ефект", "Ефективність" та "Бойовий Потенціал"

Для побудови коректної методології оцінки необхідно чітко розмежувати фундаментальні поняття. У військовій науці та економіці ці терміни мають різне значення.

Ефект — це прямий, безпосередній результат застосування технології або виконання певного завдання. Це абсолютна, вимірювана величина. Наприклад, ефектом від впровадження нової системи зв'язку може бути скорочення середнього часу передачі бойового наказу з 10 до 2 хвилин, або збільшення пропускної здатності каналу передачі даних на 300%.

Ефективність — це відносна величина, що характеризує співвідношення між досягнутим ефектом (результатом) та витраченими на це ресурсами, або ступінь досягнення поставленої мети. Виділяють два основні види ефективності ²:

- **Ресурсна ефективність** (efficiency): Описує, наскільки оптимально були використані ресурси для досягнення результату. Розраховується як відношення прямого результату до витрат ($\text{Ефективність}_{\text{ресурсна}} = \frac{\text{Витрати}}{\text{Результат}}$).
- **Цільова ефективність** (effectiveness): Описує, наскільки досягнутий результат сприяв досягненню вищої мети. Розраховується як відношення опосередкованого результату (наслідку) до прямого результату ($\text{Ефективність}_{\text{цільова}} = \frac{\text{Результат}}{\text{Наслідок}}$).

Наприклад, скорочення часу передачі наказу (ефект) є проявом ресурсної ефективності, якщо це було досягнуто з меншими витратами. Однак цільова ефективність цієї системи буде визначатися тим, чи призвело це скорочення часу до випередження противника у прийнятті рішень та, як наслідок, до успішного виконання бойового завдання (наприклад, захоплення ключової позиції з меншими втратами).

Бойовий потенціал — це інтегральна характеристика спроможностей військ (сил) виконувати бойові завдання. Впровадження ІТ спрямоване на підвищення саме бойового потенціалу через покращення якості управління, ситуаційної обізнаності та координації дій.

1.3. IT в Архітектурі C4ISR та Циклі Управління

Інформаційні технології є технологічним ядром сучасної військової концепції C4ISR (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance — Управління, Контроль, Зв'язок, Комп'ютери, Розвідка, Спостереження та Рекогносцировка).³ Ця архітектура розглядається як "нервова система" збройних сил, що забезпечує неперевершену ситуаційну обізнаність, точність та ефективність.⁶ Метою системи C4ISR є досягнення переваги над противником у швидкості та якості прийняття рішень на всіх етапах бойових дій.⁷

IT безпосередньо впливають на кожен етап циклу управління, найвідомішим з яких є цикл OODA (Observe-Orient-Decide-Act — Спостереження-Орієнтація-Рішення-Дія), а також на більш формалізований Військовий Процес Прийняття Рішень (Military Decision Making Process - MDMP).⁸

- **Спостереження (Observe):** Сучасні IT, такі як геоінформаційні системи (ГІС)¹⁰, системи обробки даних з БПЛА та супутників, дозволяють збирати величезні обсяги інформації про противника та середовище в реальному часі.
- **Орієнтація (Orient):** Технології штучного інтелекту (ШІ) та аналізу великих даних (Big Data) дозволяють автоматично обробляти, аналізувати та синтезувати розрізнені дані, формуючи єдину оперативну картину та виявляючи приховані закономірності.¹²
- **Рішення (Decide):** Системи підтримки прийняття рішень (СППР) та інструменти імітаційного моделювання надають командирам варіанти дій (Courses of Action - COA) та прогнозують їхні наслідки, що значно підвищує обґрунтованість вибору.¹⁴
- **Дія (Act):** Автоматизовані системи управління військами забезпечують швидке та точне доведення наказів до виконавців, контроль їх виконання та координацію дій підрозділів на полі бою.¹⁶

Таким чином, ефективність IT в ОВУ вимірюється їхньою здатністю прискорювати цикл управління та підвищувати якість рішень на кожному його етапі, що в кінцевому підсумку призводить до досягнення інформаційної та бойової переваги.¹

1.4. Актуальність для Збройних Сил України

Для Збройних Сил України, які ведуть оборонну війну проти чисельно переважаючого противника, ефективне застосування IT стає ключовою асиметричною перевагою.¹⁸

Досвід бойових дій продемонстрував, що технологічне домінування, навіть на тактичному рівні, може нівелювати кількісну перевагу ворога. Створення спеціалізованих підрозділів, таких як Командування безпілотних систем, свідчить про усвідомлення цієї реальності на найвищому рівні.¹⁸

Водночас, стратегічний курс України на інтеграцію до євроатлантичних структур безпеки та перехід на стандарти НАТО висуває жорсткі вимоги до інтероперабельності систем управління, зв'язку та розвідки.¹⁹ Впровадження стандартів НАТО — це не лише технічне завдання, але й необхідність імплементації відповідних підходів до планування, підготовки та оцінки операцій.²¹ Це, у свою чергу, вимагає розробки та впровадження науково обґрунтованих та уніфікованих з підходами Альянсу методів оцінки ефективності ІТ. Без такої системи оцінки неможливо об'єктивно визначити прогрес у досягненні сумісності з НАТО та ефективно планувати подальший розвиток оборонних спроможностей.

Розділ 2: Таксономія Наукових Методів Оцінки: Комплексний Підхід

Оцінка ефективності інформаційних технологій в ОВУ є складною, багатогранною задачею, що вимагає застосування комплексу наукових методів з різних галузей знань. Жоден окремий метод не може надати повної картини; лише їх синергетичне поєднання дозволяє отримати об'єктивну та всебічну оцінку.

2.1. Кількісні та Якісні Парадигми Оцінки

В основі будь-якої оцінки лежить вибір між кількісною та якісною парадигмою, або їх поєднанням.

Кількісні методи орієнтовані на збір та аналіз об'єктивних, вимірюваних числових даних. Вони дозволяють оцінити технічну продуктивність та надійність ІТ-систем. До цієї групи належать:

- **Статистичний аналіз показників продуктивності:** Вимірювання таких параметрів, як час відгуку системи, пропускна здатність каналів зв'язку, затримка передачі даних, кількість оброблених транзакцій за одиницю часу.²³
- **Аналіз журналів подій (Log Analysis):** Автоматизований аналіз системних логів для

виявлення аномалій, оцінки навантаження на систему, частоти виникнення помилок та інтенсивності використання окремих функцій.

- **Моніторинг мережевого трафіку:** Вимірювання обсягів переданих даних, завантаженості мережевої інфраструктури та виявлення "вузьких місць", що можуть впливати на оперативність управління.

Якісні методи спрямовані на збір та аналіз нечислових, суб'єктивних даних для глибокого розуміння контексту використання ІТ, виявлення причинно-наслідкових зв'язків та оцінки впливу на людський фактор. Основні якісні методи включають:

- **Аналіз звітів за результатами дій (After-Action Reports - AAR):** Систематичне вивчення офіційних звітів та "уроків" (lessons learned), отриманих під час реальних бойових операцій або командно-штабних навчань. AAR є безцінним джерелом інформації про реальні проблеми та переваги використання ІТ-систем в бойових умовах, виявляючи сильні та слабкі сторони, які неможливо виявити в лабораторних умовах.²⁴
- **Метод кейс-стаді (Case Study Analysis):** Глибоке, всебічне дослідження одного або кількох конкретних випадків (кейсів) застосування ІТ. Наприклад, детальний аналіз однієї бойової операції, де ключову роль відіграла система ситуаційної обізнаності "Кропива" або "Дельта". Цей метод дозволяє дослідити складні взаємозв'язки між технологією, тактикою, організаційною структурою та людським фактором у їхньому реальному контексті.²⁶
- **Опитування та анкетування:** Збір думок, оцінок та відгуків від кінцевих користувачів (офіцерів, сержантів, солдатів) та експертів за допомогою структурованих анкет або напівструктурованих інтерв'ю. Цей метод дозволяє оцінити суб'єктивні аспекти, такі як зручність використання, довіра до системи та її сприймана корисність.³⁰

Найбільш повну та обґрунтовану оцінку забезпечує **синергія підходів**, де кількісні та якісні методи доповнюють один одного. Кількісні дані можуть показати, що сталося (наприклад, "час доставки наказу скоротився на 80%"), тоді як якісні дані допомагають зрозуміти, чому це сталося і як це вплинуло на загальний результат (наприклад, "завдяки швидкому отриманню наказу підрозділ встиг зайняти вигідну позицію до підходу противника").³²

2.2. Економічні Методи: Обґрунтування Інвестицій в Оборонні ІТ

В умовах обмежених оборонних бюджетів економічне обґрунтування є ключовим елементом процесу прийняття рішень щодо розробки та закупівлі ІТ-систем.

- **Аналіз "Витрати-Ефективність" (Cost-Effectiveness Analysis - CEA):** Це основний

метод для порівняння альтернативних ІТ-рішень. Він не намагається виразити військову перевагу в грошових одиницях, а натомість відповідає на одне з двох питань:

1. Яка з альтернатив дозволяє досягти заданого рівня бойової ефективності (наприклад, скоротити час ураження цілі до 3 хвилин) з найменшими витратами?
2. Яка з альтернатив забезпечує максимальний рівень бойової ефективності при фіксованому бюджеті?

Ключовим показником є коефіцієнт "вартість-ефективність", що розраховується як відношення загальних витрат життєвого циклу системи до певного показника військової ефективності (наприклад, вартість на одну уражену ціль).³⁵

- **Аналіз "Витрати-Вигода" (Cost-Benefit Analysis - CBA):** Цей метод є більш складним, оскільки вимагає монетизації не лише витрат, але й отриманих вигод. У військовій сфері це часто є проблематичним, оскільки важко присвоїти грошову вартість збереження життям, отриманій тактичній перевазі чи підвищенню рівня національної безпеки. Однак CBA може бути застосований для оцінки ІТ-систем, де вигоди є більш відчутними, наприклад, через розрахунок вартості відвернених збитків (наприклад, вартість знищеної техніки, якої вдалося уникнути завдяки своєчасному попередженню від системи).³⁵
- **Аналіз Альтернатив (Analysis of Alternatives - AoA):** Це стандартизований, комплексний процес, що є обов'язковим в оборонному плануванні США та НАТО для прийняття рішень щодо великих закупівель. AoA є аналітичним порівнянням операційної ефективності, придатності та вартості життєвого циклу альтернатив, що задовольняють встановлені потреби у спроможностях.⁴³ Процес AoA включає такі ключові етапи: розробка детального плану дослідження, визначення базових правил (сценарії, загрози, обмеження), опис альтернатив (включаючи варіант "нічого не змінювати"), розробка ієрархії показників ефективності та вартості, проведення аналізу (часто з використанням моделювання) та порівняння альтернатив для вибору найбільш збалансованого рішення.⁴⁵

2.3. Методи Дослідження Операцій та Системного Аналізу

Ці методи дозволяють розглядати ІТ-системи не ізольовано, а як невід'ємну частину складних бойових систем.

- **Системний аналіз:** Це міждисциплінарна методологія, що використовується для підвищення обґрунтованості рішень у складних, слабо-структурованих проблемах, якими є проблеми військового управління.⁴⁷ Системний аналіз дозволяє декомпонувати загальну проблему (наприклад, "підвищення ефективності управління бригадою") на складові елементи (системи зв'язку, розвідки, вогневого ураження, логістики, особовий склад), моделювати зв'язки між ними та оцінювати, як

зміна одного елемента (впровадження нової ІТ-системи) вплине на систему в цілому.⁴⁸

- **Імітаційне моделювання (Combat Simulation):** Це потужний інструмент дослідження операцій, що полягає у створенні комп'ютерних моделей бойових дій для оцінки ефективності різних тактик, систем озброєння та систем управління. Моделювання дозволяє "програти" сотні варіантів бойових зіткнень у контрольованому віртуальному середовищі, змінюючи параметри ІТ-систем (наприклад, швидкість передачі даних, точність розвідданих) та оцінюючи їх вплив на кінцевий результат (співвідношення втрат, час виконання завдання, площа взятої під контроль території).¹⁴ У країнах НАТО для оперативного планування та моделювання широко використовуються такі програмні продукти, як TOPFAS (Tool for Operational Planning, Force Activation and Simulation).⁵¹

2.4. Експертні Методи: Структурування та Квантифікація Думки

Коли об'єктивних даних недостатньо або проблема є занадто складною для формального моделювання, на допомогу приходять методи, що базуються на знаннях та інтуїції досвідчених фахівців.

- **Метод Дельфі (Delphi Method):** Цей метод, розроблений корпорацією RAND у 1950-х роках саме для прогнозування впливу технологій на військову справу, є ітеративною процедурою анонімного опитування групи незалежних експертів.⁵⁵ Ключові характеристики методу:
 1. **Анонімність:** Експерти не знають, хто ще бере участь в опитуванні, що усуває вплив авторитету та групового тиску.
 2. **Ітеративність:** Опитування проводиться в кілька раундів.
 3. **Контрольований зворотний зв'язок:** Після кожного раунду фасилітатор обробляє результати (наприклад, розраховує медіану та міжквартильний розмах оцінок) та надає їх учасникам разом з анонімними аргументами на користь крайніх думок.
 4. **Статистична групова відповідь:** Експерти можуть переглянути свої оцінки з урахуванням думки колег. Процес повторюється до досягнення стабільності оцінок (консенсусу).⁵⁶ Метод Дельфі є особливо корисним для визначення та пріоритизації критеріїв ефективності для нових, ще не впроваджених ІТ-систем.
- **Аналітичний Ієрархічний Процес (Analytic Hierarchy Process - АНП):** Це математичний інструмент для вирішення складних багатокритеріальних завдань, розроблений Томасом Сааті. Метод дозволяє структурувати проблему у вигляді ієрархії: на верхньому рівні — головна мета (наприклад, "вибрати найефективнішу АСУВ для батальйону"), на середньому — критерії оцінки (наприклад, оперативність, захищеність, вартість, інтероперабельність), на нижньому — альтернативи

системи.⁵⁹ Вагомість кожного критерію визначається шляхом попарних порівнянь експертами ("наскільки оперативність важливіша за вартість?"). АНР перетворює ці суб'єктивні судження в числові пріоритети, що дозволяє об'єктивно порівняти альтернативи, враховуючи як кількісні, так і якісні фактори.⁶⁰

2.5. Зведення та Інтеграція Методів

Вибір конкретного методу або їх комбінації не є довільним. Він повинен суворо відповідати етапу життєвого циклу інформаційної системи та характеру рішення, яке необхідно прийняти. На ранніх етапах, при формуванні вимог до майбутньої системи, коли невизначеність є високою, доцільно використовувати експертні методи, такі як метод Дельфі, для визначення ключових критеріїв ефективності. На етапі аналізу альтернатив та прийняття рішення про закупівлю чи розробку, домінуючу роль відіграють економічні методи, зокрема формалізований процес Аналізу Альтернатив (AoA), який, у свою чергу, може використовувати результати імітаційного моделювання для оцінки операційної ефективності. Під час розробки та випробувань (Developmental and Operational Testing) на перший план виходять кількісні методи для вимірювання конкретних показників продуктивності (MOP). Нарешті, після розгортання та під час експлуатації системи у військах, ключову роль відіграють якісні методи, такі як аналіз звітів AAR та соціологічні опитування користувачів, для оцінки реальної ефективності в бойових умовах. Такий підхід створює комплексну "мета-методологію", що забезпечує наукову обґрунтованість оцінки на всіх етапах життєвого циклу IT-системи.

Таблиця 1: Порівняльний Аналіз Методологій Оцінки

| Клас Методу | Основне Призначення | Об'єктивність | Вимоги до Даних | Етап Життєвого Циклу | Сильні Сторони | Обмеження |
|------------------|--|---------------|--|--------------------------------------|---|---|
| Кількісні | Вимірювання технічної продуктивності та надійності системи | Висока | Великі обсяги структурованих даних (логи, метрики) | Розробка, Випробування, Експлуатація | Об'єктивність, точність, відтворність результатів | Не враховують контекста людського фактора, "що", але не |

| | | | | | | "чому" |
|-----------------------------|--|----------------|--|---|---|--|
| Якісні | Розуміння контексту використання, причинно-наслідкових зв'язків | Низька-Середня | Неструктуровані дані (звіти, інтерв'ю, спостереження) | Навчання, Експлуатація, Модернізація | Глибина аналізу, розуміння людського фактора, гнучкість | Суб'єктивність, складність узагальнення, трудомісткість |
| Економічні | Обґрунтування інвестицій, вибір найбільш раціональної альтернативи | Висока | Дані про вартість життєвого циклу, показники ефективності | Концепція, Аналіз альтернатив, Закупівля | Прямий зв'язок з бюджетним процесом, прозорість рішень | Складність монетизації військових вигод (СВА), вимагає чітких показників (СЕА) |
| Дослідження операцій | Оптимізація бойових процесів, прогнозування результатів | Висока | Детальні моделі бойових дій, тактико-технічні характеристики | Аналіз альтернатив, Планування операцій, Навчання | Можливість аналізу "що, якщо", оцінка в контрольному середовищі | Складність та вартість розробки моделей, чутливість до вхідних даних |
| Експертні | Формування консенсусу, оцінка в | Середня | Думки та судження кваліфікованих | Концепція, Формування вимог, | Ефективні при браку даних, структур | Залежність від кваліфікації експерти |

| | | | | | | |
|--|------------------------------|--|---------------|-------------------|---------------------------------|---|
| | умовах невизнач еності | | експерті в | Прогнозу вання | ують складні проблем и | в, потенцій на упередж еність |
|--|------------------------------|--|---------------|-------------------|---------------------------------|---|

Розділ 3: Критерії та Показники Ефективності: Багаторівнева Система Вимірювання

Для проведення науково обґрунтованої оцінки необхідно визначити, *що саме* вимірювати. Ефективність ІТ в ОВУ є складною, багатовимірною властивістю, яку неможливо описати одним показником. Тому застосовується ієрархічна система критеріїв та показників, що дозволяє простежити зв'язок від технічних характеристик конкретної системи до результатів виконання бойової місії.

3.1. Ієрархія Військових Показників: Від Системи до Місії

Відповідно до методології, розробленої в рамках НАТО та Міністерства оборони США, для оцінки складних систем, зокрема систем управління (C2), використовується багаторівнева ієрархія показників.³³ Ця структура дозволяє декомпонувати загальну ефективність на вимірювані компоненти.

- Measures of Performance (MOP) — Показники Продуктивності:** Це найнижчий, технічний рівень ієрархії. MOP характеризують функціонування самої системи та її підсистем, відповідаючи на питання: "Чи правильно ми робимо речі?" (Are we doing things right?). Ці показники, як правило, є кількісними та вимірюються під час випробувань. Приклади MOP для ІТ-систем:
 - Час доставки повідомлення між двома вузлами мережі.
 - Точність визначення координат об'єкта системою ГІС.
 - Пропускна здатність каналу передачі даних (наприклад, для потокового відео з БПЛА).
 - Кількість цілей, які система радіолокації може одночасно супроводжувати.⁶⁴
- Measures of C2 Effectiveness (MoCE) — Показники Ефективності Управління:** Цей рівень оцінює, як продуктивність системи (MOP) впливає на якість та швидкість процесів управління. MoCE пов'язують технічні характеристики з операційними

завданнями. Приклади MoCE:

- Час, необхідний для формування та розповсюдження повної та достовірної загальної оперативної картини (Common Operational Picture - COP).
 - Скорочення часу циклу прийняття рішень (OODA loop).
 - Рівень ситуаційної обізнаності командира та штабу.
 - Кількість помилок при плануванні, допущених через неповну або неточну інформацію.⁹
- **Measures of Force Effectiveness (MoFE) — Показники Ефективності Сил:** Це найвищий рівень ієрархії, що оцінює кінцевий результат — вплив покращеного процесу управління на результативність бойових дій. MoFE відповідають на питання: "Чи робимо ми правильні речі?" (Are we doing the right things?). Вони вимірюють ступінь досягнення цілей місії. Приклади MoFE:
 - Співвідношення втрат своїх військ до втрат противника.
 - Темп просування військ або утримання оборонних рубежів.
 - Ймовірність успішного виконання бойового завдання.
 - Кількість знищених пріоритетних цілей противника.³³

Для Збройних Сил України ця ієрархія може бути доповнена специфічними національними показниками, такими як "показник необхідного рівня боеготовності та боєздатності ЗС" та "показники необхідних спроможностей ЗС", які характеризують здатність військ у визначені строки розпочати бойові дії та успішно виконувати завдання в контексті існуючих загроз.⁶⁷

3.2. Оцінка Людського Фактора: Інтерфейс "Людина-Машина"

Найдосконаліша ІТ-система буде неефективною, якщо особовий склад не може або не хоче її використовувати. Тому оцінка людського фактора є критично важливою. Ефективність ІТ не є її внутрішньою властивістю, а скоріше емерджентною якістю соціотехнічної системи "людина-машина", яку вона створює.⁶⁸ Існує критичний компроміс між технічною продуктивністю (MOP) та когнітивними можливостями людини. Система з ідеальними MOP (наприклад, миттєва передача даних) може перевантажити оператора інформацією, погіршити його ситуаційну обізнаність і призвести до прийняття хибних рішень, що негативно вплине на MoFE.

- **Ситуаційна обізнаність (Situational Awareness - SA):** SA є одним з ключових продуктів систем C4ISR. Для її вимірювання використовуються:
 - **Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT):** Об'єктивний метод, при якому під час симуляції робота оператора раптово зупиняється, екран гасне, і йому ставлять низку питань про поточну обстановку. Відповіді порівнюються з реальною ситуацією в симуляції.⁶⁹

- **Situation Awareness Rating Technique (SART):** Суб'єктивний метод, що являє собою опитувальник, який оператор заповнює після виконання завдання. Він оцінює своє розуміння ситуації, навантаження на увагу та обсяг отриманої інформації.⁶⁹
- **Когнітивне навантаження (Cognitive Workload):** Оцінює розумові зусилля, необхідні для роботи з системою. Найпоширенішим інструментом є **NASA Task Load Index (NASA-TLX)** — стандартизований опитувальник, що оцінює навантаження за шістьма шкалами: розумові вимоги, фізичні вимоги, часові вимоги, власна продуктивність, докладені зусилля та рівень розчарування. Цей метод дозволяє порівнювати когнітивну "вартість" використання різних систем.⁷²
- **Сприйняття та Прийняття Технології (Technology Acceptance):** Соціологічні моделі дозволяють спрогнозувати, чи буде нова система реально використовуватися у військах. Ключовою є **Модель Прийняття Технології (Technology Acceptance Model - TAM)**, яка стверджує, що намір використовувати технологію визначається двома основними факторами:
 1. **Сприймана корисність (Perceived Usefulness):** Наскільки користувач вірить, що система допоможе йому краще виконувати свою роботу.
 2. **Сприймана легкість використання (Perceived Ease of Use):** Наскільки користувач вважає, що робота з системою не вимагатиме значних зусиль.⁷⁶

Оцінка за моделлю TAM є важливою на етапі впровадження системи.

- **Юзабіліті (Usability):** Оцінює загальну зручність та інтуїтивність інтерфейсу системи. Широко використовується **System Usability Scale (SUS)** — короткий стандартизований опитувальник з 10 питань, що дає швидку та надійну оцінку юзабіліті за шкалою від 0 до 100.⁷⁹

3.3. Кібербезпека як Фундаментальний Критерій Ефективності

В умовах сучасної мережево-центричної війни, де інформаційна інфраструктура є пріоритетною ціллю для атак противника, ефективність ІТ-системи не може розглядатися у відриві від її захищеності. Система, що є вразливою до кібервпливу, має нульову або навіть негативну ефективність, оскільки може стати джерелом дезінформації або каналом витоку критично важливих даних.⁴ Тому кібербезпека є не додатковою характеристикою, а фундаментальною передумовою ефективності.

Ключові показники для оцінки рівня кібербезпеки ІТ-системи включають:

- **Час виявлення загрози (Time to Detect):** Середній час, що проходить з моменту початку атаки до її виявлення.
- **Час реагування на інцидент (Time to Respond):** Середній час, необхідний для

нейтралізації загрози після її виявлення.

- **Кількість та критичність виявлених вразливостей:** Оцінка технічної захищеності системи.
- **Стійкість до відмови в обслуговуванні (DDoS):** Здатність системи продовжувати функціонувати під час цілеспрямованих атак на її доступність.
- **Рівень відповідності стандартам безпеки:** Перевірка на відповідність національним та міжнародним стандартам інформаційної безпеки (наприклад, стандартам НАТО).⁸⁴

3.4. Синтез Багаторівневої Системи Вимірювання

Представлені критерії та показники утворюють комплексну систему, що дозволяє проводити всебічну оцінку ефективності ІТ. Ця система пов'язує конкретні технічні параметри з кінцевими результатами бойових дій, враховуючи при цьому вирішальну роль людського фактора та фундаментальну важливість кібербезпеки.

Таблиця 2: Ієрархія Показників Військової Ефективності

| Рівень | Визначення | Ключове Питання | Конкретні Військові Приклади |
|---|---|--|--|
| MoFE (Показники Ефективності Сил) | Критерій для оцінки результативності виконання місії, пов'язаний з досягненням кінцевого стану. | "Чи робимо ми правильні речі?" | - Ймовірність виконання бойового завдання. - Співвідношення втрат (свої/противника). - Темп просування військ. |
| MoCE (Показники Ефективності Управління) | Критерій для оцінки змін у поведінці системи, спроможностях або операційному середовищі. | "Як система впливає на якість управління?" | - Час циклу OODA. - Повнота та точність COP. - Рівень ситуаційної обізнаності (SA). |

| | | | |
|---------------------------------------|---|--|---|
| МОР (Показники Продуктивності) | Критерій для оцінки дружніх дій при виконанні завдань; характеризує роботу самої системи. | "Чи правильно ми робимо речі?" | - Час доставки повідомлення. - Пропускна здатність каналу зв'язку. - Точність визначення координат. |
| ДР (Розмірнісні Параметри) | Внутрішні, фізичні властивості компонентів системи. | "Які технічні характеристики системи?" | - Тактова частота процесора. - Обсяг оперативної пам'яті. - Роздільна здатність сенсора. |

Розділ 4: Оцінка Передових Технологій: Виклики Штучного Інтелекту та Автономії

Впровадження технологій штучного інтелекту (ШІ), машинного навчання (ML) та автономних систем в ОВУ створює нові, безпрецедентні виклики для методів оцінки. Традиційні підходи, розроблені для детермінованих систем, виявляються недостатніми. Оцінка систем на базі ШІ знаменує собою парадигмальний зсув від *тестування продуктивності до забезпечення довіри*. Для традиційних ІТ головне питання: "Чи виконує система свою функцію коректно та ефективно?". Для ШІ, особливо у застосуваннях, пов'язаних з ураженням цілей, головним стає питання: "Чи можемо ми довіряти системі, що вона виконає свою функцію коректно, етично та надійно в непередбачуваному середовищі?".

4.1. Верифікація, Валідація та Тестування (V&V/T&E) Автономних Систем

Верифікація ("чи правильно ми створюємо продукт?") та валідація ("чи створюємо ми правильний продукт?") для систем на базі ШІ стикаються з фундаментальними

проблемами, що відрізняють їх від традиційного програмного забезпечення.⁸⁷

- **Недетермінованість та "чорна скринька":** На відміну від класичних алгоритмів, рішення нейронних мереж не завжди є повністю відтворюваними та логічно прозорими. Діагностувати причини помилкової поведінки (чи це помилка в коді, неадекватний алгоритм, чи "погані" дані для навчання) надзвичайно складно без інструментів для моніторингу внутрішніх станів ШІ.⁸⁸
- **Емерджентна поведінка:** Взаємодія ШІ зі складним та динамічним операційним середовищем може призводити до непередбачуваної поведінки, яка не була закладена розробниками і не виявлена під час лабораторних тестів.⁸⁸
- **Вразливість до даних:** Ефективність систем на базі ML критично залежить від якості, повноти та репрезентативності даних, на яких вони навчалися. Це створює нові вектори атак, такі як "отруєння даних" (data poisoning) або змагальні атаки (adversarial attacks), коли незначні, непомітні для людини зміни у вхідних даних (наприклад, зображенні) змушують систему робити грубі помилки.⁸⁸

Сучасні підходи до V&V/T&E автономних систем включають:

- **Верифікація та валідація даних для навчання:** Процес V&V має поширюватися не лише на програмний код, але й на набори даних, що використовуються для навчання ШІ, щоб переконатися в їхній якості, відсутності упереджень (bias) та репрезентативності для операційного середовища.⁸⁷
- **Тестування на основі симуляцій:** Використання високоточних цифрових двійників та віртуальних середовищ для тестування поведінки ШІ в тисячах різноманітних сценаріїв, включаючи рідкісні та небезпечні ситуації, які неможливо відтворити в реальних умовах.⁸⁹
- **Формальні методи:** Застосування математичних методів для доведення того, що поведінка ШІ-системи за будь-яких умов не вийде за межі визначених безпечних рамок (наприклад, не атакуватиме об'єкти зі списку заборонених цілей).⁸⁷
- **Постійне тестування та моніторинг (Run-Time Monitoring):** Оскільки системи на базі ШІ можуть продовжувати навчатися та змінювати свою поведінку після розгортання, процес T&E не закінчується, а перетворюється на безперервний моніторинг та регресійне тестування протягом усього життєвого циклу.⁸⁸

4.2. Пояснюваний ШІ (Explainable AI - XAI): Метрики Довіри та Надійності

Для військових систем, де рішення можуть мати летальні наслідки, здатність системи пояснити логіку свого рішення ("чому було ідентифіковано саме цю ціль?") є критично важливою для забезпечення довіри оператора, юридичної відповідальності та

дотримання норм міжнародного гуманітарного права.⁹⁰ ХАІ — це набір методів, що дозволяють робити моделі "чорної скриньки" більш прозорими для людини.

Оцінка ефективності ХАІ-методів є людино-центричною. Головне питання не в тому, чи існує пояснення, а в тому, чи дійсно воно покращує розуміння та прийняття рішень оператором. Метрики для оцінки якості пояснень включають:

- **Вірність (Fidelity):** Наскільки точно пояснення відображає реальний процес прийняття рішень моделлю.
- **Зрозумілість (Understandability):** Наскільки легко людина-оператор може зрозуміти надане пояснення.
- **Надійність (Robustness):** Наскільки стабільним є пояснення при незначних змінах у вхідних даних.
- **Вплив на продуктивність:** Чи покращує наявність пояснень швидкість та точність рішень, які приймає оператор, працюючи з системою.⁹²

4.3. Ефективність Команд "Людина-Автономія" (Human-Autonomy Teaming - HAT)

Сучасна концепція передбачає перехід від розгляду автономних систем як інструментів до їх інтеграції в бойові підрозділи як повноцінних членів команди (teammates).⁹⁷ Це вимагає зміни підходу до оцінки: замість аналізу продуктивності окремо людини та окремо машини, необхідно оцінювати ефективність команди в цілому.

Ключові показники ефективності HAT включають:

- **Спільна ситуаційна обізнаність (Shared SA):** Наскільки ментальні моделі поточної ситуації у людини та автономної системи є узгодженими.
- **Ефективність комунікації:** Оцінюється за структурою (хто, що, кому і коли повідомляє), динамікою та змістом інформаційного обміну між людиною та ШІ.⁹⁸
- **Плавність взаємодії (Interaction Fluency):** Відсутність затримок, непорозумінь та необхідності в надлишкових діях для координації.
- **Адаптивність команди:** Здатність команди (людини та ШІ) гнучко перерозподіляти завдання між собою залежно від зміни обстановки та навантаження.
- **Загальна продуктивність команди:** Вимірюється за показниками виконання місії (MoFE), такими як швидкість, точність та ефективність використання ресурсів.⁹⁹

4.4. Рамкова структура для Забезпечення Надійності Військового

ШІ

Оцінка систем на базі ШІ вимагає комплексного підходу, що поєднує технічні, операційні та етичні аспекти. Наведена нижче таблиця систематизує основні виклики та відповідні методи їх вирішення в рамках процесу V&V та забезпечення довіри.

Таблиця 3: Виклики та Підходи до V&V Систем на базі ШІ

| Виклик | Відповідний Підхід до V&V / Забезпечення Надійності |
|--|---|
| Прийняття рішень за принципом "чорної скриньки" | - Впровадження методів XAI (наприклад, LIME, SHAP) для генерації пояснень. - Людино-центрична оцінка якості та зрозумілості пояснень. |
| "Отруєння" даних / Змагальні атаки | - Верифікація та валідація навчальних наборів даних на повноту, якість та відсутність упереджень. - Проведення змагального тестування (Adversarial Testing) для оцінки стійкості моделі. |
| Непередбачувана емерджентна поведінка | - Масштабне тестування на основі симуляцій у різноманітних сценаріях. - Впровадження систем моніторингу в реальному часі (Run-time Assurance) для виявлення та блокування небезпечної поведінки. |
| Відповідність етичним та правовим нормам | - Використання формальних методів для верифікації відповідності правилам ведення бойових дій (Rules of Engagement). - Валідація за принципом "людина-в-циклі" (Human-in-the-loop) для критично важливих рішень. |

Розділ 5: Практичне Застосування та Стратегічні

Рекомендації для Збройних Сил України

Теоретичні методи та критерії оцінки набувають реальної цінності лише тоді, коли вони застосовуються на практиці, враховуючи унікальний досвід та специфічні потреби збройних сил. Аналіз минулих та поточних конфліктів дозволяє сформулювати конкретні рекомендації щодо побудови ефективної системи оцінки ІТ для ЗСУ.

5.1. Аналіз Досвіду: Уроки Минулих та Сучасних Конфліктів

Досвід застосування ІТ у військових конфліктах ХХІ століття виявляє критичну розбіжність у філософії розробки та впровадження технологій, що має прямий вплив на методологію їх оцінки.

Операція "Свобода Іраку" (OIF): Цей конфлікт став першим масштабним застосуванням мережево-центричних технологій, зокрема систем відстеження дружніх сил (Blue Force Tracking - BFT), таких як FBCB2. Аналіз звітів AAR виявив як значні переваги, так і критичні недоліки ²⁵:

- **Переваги:** Різке підвищення ситуаційної обізнаності на тактичному рівні, прискорення циклу прийняття рішень, значне зниження ризику "дружнього вогню".¹⁰⁴
- **Критичні проблеми:**
 - **Відсутність інтероперабельності:** Системи різних видів військ (наприклад, армії та морської піхоти) були несумісними, що створювало "шви" в єдиній оперативній картині та перешкоджало спільним операціям.²⁵
 - **Проблеми з оперативністю та аналітикою:** Системи збору та аналізу розвідданих, зокрема для оцінки бойових уражень (Battle Damage Assessment - BDA), не встигали за високим темпом наступальних операцій. Дані надходили із запізненням, а аналітичних інструментів для їх швидкої обробки бракувало.²⁵
 - **Неадекватність C4ISR:** Загалом, системи C4ISR продемонстрували нездатність надавати своєчасну, точну та синтезовану інформацію через несумісність, недостатню пропускну здатність каналів зв'язку та відсутність єдиних тактик, технік і процедур (TTPs).²⁵

Досвід OIF демонструє провал традиційної, жорсткої, "зверху-вниз" моделі розробки та впровадження ІТ, яка нездатна адаптуватися до динаміки сучасного бою.

Війна в Україні: На противагу досвіду OIF, застосування ІТ в ЗСУ характеризується гнучкістю, швидкою адаптацією та децентралізацією. Вітчизняні системи, такі як

"Кропива", "Дельта", та система збору розвідданих Griselda, були розроблені в тісній співпраці з кінцевими користувачами і постійно вдосконалюються на основі бойового досвіду.¹⁰⁷

- **Ключові переваги:**

- **Швидкість циклу "розвідка-ураження":** Системи типу "Кропива" та "ГісАрта" отримали назву "артилерійський Uber" за їхню здатність інтегрувати дані з різних джерел (БПЛА, радары, агентурні дані) та в реальному часі передавати координати цілей артилерійським підрозділам, що різко скоротило час від виявлення до ураження цілі.¹⁵
- **Адаптивність та гнучкість:** Використання комерційних технологій та тісний зв'язок між розробниками-волонтерами та військовими дозволяє швидко модифікувати системи відповідно до нових загроз та потреб.¹⁰⁷
- **Застосування ШІ:** Система Griselda використовує ШІ для обробки великих потоків розвідданих з різноманітних джерел (супутники, соцмережі, зламані бази даних ворога), забезпечуючи доставку інформації до підрозділів за лічені секунди.¹⁰⁷

Цей досвід підкреслює перевагу гнучкої, користувацько-орієнтованої філософії розробки. Отже, методологія оцінки для ЗСУ має бути спроможною підтримувати саме такий підхід, акцентуючи увагу на безперервному зворотному зв'язку та ітеративному вдосконаленні.

5.2. Інтеграція Оцінки в Життєвий Цикл Систем: Від "Водоспаду" до DevSecOps

Традиційна "водоспадна" модель життєвого циклу розробки (послідовні етапи: формування вимог → проектування → розробка → тестування → впровадження) є абсолютно неадекватною для сучасних військових ІТ-систем.¹⁰⁸ Вона призводить до тривалих циклів розробки (роки), а кінцевий продукт часто не відповідає реальним потребам військ, які динамічно змінюються в умовах "туману війни".¹⁰⁹

Необхідний перехід до сучасних гнучких методологій, таких як **Agile** та **DevSecOps** (Development, Security, and Operations). У рамках цих підходів оцінка ефективності перестає бути фінальним етапом і перетворюється на безперервний процес, інтегрований у кожен короткий цикл розробки (ітерацію).¹¹¹

- **Безперервний зворотний зв'язок:** Користувачі (військові) є невід'ємною частиною команди розробників і надають зворотний зв'язок на кожному етапі, що дозволяє негайно коригувати функціонал.¹⁰⁸

- **Ітеративне вдосконалення:** Система не створюється "раз і назавжди", а постійно еволюціонує через часті оновлення, що додають нові можливості та виправляють недоліки.¹¹²
- **"Безпека за задумом" (Security by Design):** Питання кібербезпеки інтегруються в процес розробки з самого початку, а не додаються як окремий шар наприкінці.

Такий підхід вимагає відповідної методології оцінки, яка має бути швидкою, гнучкою та орієнтованою на збір даних безпосередньо від користувачів в операційному середовищі.

5.3. Рекомендації щодо Розробки Комплексної Методології Оцінки для ЗСУ

На основі проведеного аналізу можна сформулювати низку стратегічних рекомендацій для створення в Збройних Силах України цілісної, науково обґрунтованої системи оцінки ефективності інформаційних технологій.

1. **Створення єдиної нормативної бази:** Необхідно розробити та затвердити на рівні Генерального штабу ЗСУ єдину "Методологію оцінки ефективності інформаційних технологій в органах військового управління". Цей документ має формалізувати ієрархію показників (MOP, MoCE, MoFE), описати таксономію наукових методів (кількісні, якісні, економічні, експертні, моделювання) та встановити правила їх застосування на різних етапах життєвого циклу ІТ-систем, від формування вимог до утилізації.
2. **Впровадження людино-центричного тестування:** Для всіх нових АСУВ, систем розвідки та підтримки прийняття рішень слід зробити обов'язковим проведення комплексної оцінки людського фактора. Ця оцінка має включати стандартизовані методики:
 - **NASA-TLX** для вимірювання когнітивного навантаження.
 - **SART/SAGAT** для оцінки ситуаційної обізнаності.
 - **TAM** для аналізу прийняття технології користувачами.
 - **SUS** для оцінки юзабіліті інтерфейсу.
 Результати цих оцінок мають бути ключовим критерієм для прийняття системи на озброєння.
3. **Формування спеціалізованих V&V/XAI підрозділів:** З огляду на стрімкий розвиток ШІ та автономних систем, необхідно створити в структурі ЗСУ (наприклад, на базі профільних науково-дослідних інститутів або центрів інновацій) спеціалізовані групи, відповідальні за верифікацію, валідацію та забезпечення пояснюваності (V&V/XAI) систем на базі ШІ. Ці групи мають розробляти методики тестування, проводити "червоне командування" (adversarial testing) та гарантувати, що ШІ-системи є надійними, безпечними та заслуговують на довіру.

4. **Інтеграція оцінки в процеси закупівель та розробки:** Вимоги до методології та критеріїв оцінки ефективності мають стати невід'ємною частиною технічних завдань (ТЗ) на розробку та закупівлю нових ІТ-систем. ТЗ повинно чітко визначати, які показники (MOP, MoCE, MoFE) будуть вимірюватися, якими методами, та які порогові значення є прийнятними. Це забезпечить об'єктивність вибору, прозорість процесу та відповідність кінцевого продукту стандартам НАТО та реальним потребам військ.²¹

Впровадження цих рекомендацій дозволить перейти від інтуїтивного до науково обґрунтованого підходу в управлінні розвитком інформаційних технологій, що є критично важливим для забезпечення технологічної переваги та підвищення боєздатності Збройних Сил України.

Джерела

1. інформаційно-аналітичне забезпечення органів військового управління - Військова освіта, доступ отримано серпня 22, 2025, <http://znp-vo.nuou.org.ua/article/view/176001/178684>
2. Економічна концепція підвищення ефективності діяльності виробничих підприємств, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://economics.net.ua/files/archive/2015/No5/69.pdf>
3. The future of NATO C4ISR: Assessment and recommendations after ..., доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.atlanticcouncil.org/in-depth-research-reports/report/the-future-of-nato-c4isr-assessment-and-recommendations-after-madrid/>
4. настанова - "інформаційні та автоматизовані системи управління" - Sprotyv G7, доступ отримано серпня 22, 2025, https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2024/02/2_%D0%92%D0%9A%D0%94%D0%9F-6-2601.01-%D0%9D%D0%90%D0%A1-%D0%86%D0%9D%D0%A4-%D1%82%D0%B0-%D0%90%D0%A1%D0%A3.pdf
5. C4ISR | Northrop Grumman, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.northropgrumman.com/what-we-do/mission-solutions/c4isr>
6. Appraising the State of Play of C4ISR Infrastructure within NATO Gaps, Deficiencies and Steps Forward, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://hcss.nl/wp-content/uploads/2025/05/Appraising-the-State-of-Play-of-C4ISR-Infrastructure-within-NATO-HCSS-2025-1.pdf>
7. C4ISR як уможливлення спроможності - Військово-Морських Сил, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://navy.mil.gov.ua/c4isr/>
8. Військовий процес прийняття рішення (MDMP- Military decision making process), доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.psdinfo.pro/post/%D0%B2%D1%96%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B9%D0%BD%D1%8F%D1%82%D1%82%D1%8F-%D1%80%D1%96%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-mdmp-military-decision-making-process>
9. Exploring C2 Capability and Effectiveness in Challenging Situations :

- Interorganizational Crisis Management, Military Operations - DiVA portal, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1313288/FULLTEXT01.pdf>
10. У сучасних умовах успішне виконання завдань сухопутними військами неможливе без, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/opac/search.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Znpviknu%5F2015%5F49%5F29%2Epdf
 11. НАУКА І СУСПІЛЬСТВО - НАН України, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://files.nas.gov.ua/PublicMessages/Documents/0/2021/09/210924103129701-3400.pdf>
 12. Застосування штучного інтелекту у сфері національної безпеки та обороноздатності держави - Сідкон, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://sidcon.com.ua/tpost/7vuygong71-zastosuvannya-shtuchnogo-ntelektu-u-sfer>
 13. Уміння ефективно використовувати обмежені ресурси – унікальна характеристика української армії». Інтерв'ю з Михайлом Кольцовим - SPEKA.media, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://speka.media/uminnya-efektivno-vikoristovuvati-obmezeni-resursi-unikaln-a-xarakteristika-ukrayinskoyi-armiyi-intervyu-z-mixailom-kolcovim-pyg2qp>
 14. ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ З ДОСТАТНІМ РІВНЕМ КОРИСНОСТІ РОЗВІДУВАЛЬНО-УПРАВЛІНСЬКОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ТРИВИМІРНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ БОЙОВИХ ЕПІЗОДІВ, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://dndivsovt.com/index.php/journal/article/view/266>
 15. Do AI Decision Support Systems 'Support' Humans in Military Decision-Making on the Use of Force? - Opinio Juris, доступ отримано серпня 22, 2025,
<http://opiniojuris.org/2024/11/29/do-ai-decision-support-systems-support-human-s-in-military-decision-making-on-the-use-of-force/>
 16. Автоматизована система управління військами — ВУЕ, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://vue.gov.ua/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D1%96%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%B2%D1%96%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0%D0%BC%D0%B8
 17. Автоматизована система управління військами – зброя перемог - військовий кур'єр, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://mil.co.ua/avtomatyzovana-systema-upravlinnya-vijskamy-zbroya-peremogy/>
 18. ЗСУ інтегрують штучний інтелект для технологічного домінування на полі бою, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://24tv.ua/tech/zbroyni-sili-ukrayini-vprovadzhuvatimut-shtuchniy-intelekt-dlya_n2562211
 19. правові засади запровадження стандартів північноатлантичного альянсу,

- доступ отримано серпня 22, 2025,
<http://pgp-journal.kiev.ua/archive/2021/4/28.pdf>
20. ДЕЯКІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТІВ НАТО У СИСТЕМУ ВИПРОБУВАНЬ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ УКРАЇНИ, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://dndivsovt.com/index.php/journal/article/view/45>
21. Переваги та виклики впровадження стандартів НАТО в систему військової освіти України, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://ukrainetonato.com.ua/osvita-ta-boyova-pidhotovka-za-standartamy-nato/perevahy-ta-vyklyky-vprovadzhennia-standartiv-nato-v-systemu-viyskovoï-osvi-ty-ukrainy/>
22. ЗАСТОСУВАННЯ СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ У КОНФЛІКТАХ СУЧ, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://dspace.nadpsu.edu.ua/bitstream/123456789/3511/1/zbirnyk_zastosuvannya_%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8%202023_%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80.229.pdf
23. Cybersecurity Metrics in Military Law - Number Analytics, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.numberanalytics.com/blog/cybersecurity-metrics-military-law>
24. After Action Reviews With the Ground Soldier System - DTIC, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA438040.pdf>
25. Intelligence, Surveillance and Reconnaissance in Support of ..., доступ отримано серпня 22, 2025, <https://irp.fas.org/eprint/bradley.pdf>
26. C4ISR Case - Defence Beacon, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.defensebeacon.tech/c4isrcasestudy>
27. The Case Study Approach: Some Theoretical, Methodological and Applied Considerations - DTIC, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA588465.pdf>
28. Analysis for Military Decisions - RAND, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/reports/2007/R387.pdf>
29. MOR Journal - Military Operations Research Society, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.mors.org/Publications/MOR-Journal>
30. МЕТОДИКА оцінювання рівня авторитету та лідерства командирів (началь - Sprotyv G7, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://sprotyvg7.com.ua/wp-content/uploads/2023/03/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BA%D0%B0-%D0%BE%D1%86%D1%96%D0%BD%D0%BA%D0%B8-%D0%BB%D1%96%D0%B4%D0%B5%D1%80%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0-%D1%82%D0%B0-%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B5%D1%82%D1%83.pdf>
31. ефективність протидії російській дезінформації в Україні в умовах повномасштабної війни, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://www.jta.com.ua/wp-content/uploads/2023/08/UMCI_Effectiveness-of-Russian-Disinformation-Counteraction-UA.pdf
32. Qualitative vs. Quantitative Cybersecurity Risk Assessment: What's the Difference?, доступ отримано серпня 22, 2025,

- <https://securityscorecard.com/blog/qualitative-vs-quantitative-risk-assessment/>
33. NATO COBP for C2 Assessment - GovInfo, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-D-PURL-LPS45601/pdf/GOVPUB-D-PURL-LPS45601.pdf>
 34. A Systems Engineering Approach to Metrics Identification for Command and Control - DTIC, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA463892.pdf>
 35. МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАКЛАДІВ ЗАГАЛЬНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ОСВІТИ | Т Л Шестаковська, доступ отримано серпня 22, 2025, <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2050>
 36. Cost-efficiency analysis of weapon system portfolios | Request PDF - ResearchGate, доступ отримано серпня 22, 2025, https://www.researchgate.net/publication/257196259_Cost-efficiency_analysis_of_weapon_system_portfolios
 37. OPERATING AND SUPPORT COST-ESTIMATING GUIDE - DAU, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.dau.edu/sites/default/files/2025-02/2025%20OS%20Cost%20Estimating%20Guide.pdf>
 38. GUIDE FOR REVIEWERS OF STUDIES CONTAINING COST-EFFECTIVENESS ANALYSIS - DTIC, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/AD0618892.pdf>
 39. Review of the Sensor Fuzed Weapon as a Part of the Audit of the, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://media.defense.gov/1992/Feb/18/2001714586/-1/-1/1/92-050.pdf>
 40. IMD COST METHODOLOGY GUIDEBOOK - DAU, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.dau.edu/sites/default/files/Migrated/CopDocuments/IMD%20Cost%20Methodology%20Guidebook%20posted%2027May2015.pdf>
 41. Cost-Benefit Analysis of the 2006 Air Force Materiel Command Test and Evaluation Proposal - RAND, доступ отримано серпня 22, 2025, https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monographs/2008/RAND_MG619.sum.pdf
 42. ANNEX A SUMMARY DESCRIPTION AND COST ESTIMATION OF PRESENT NOTIFICATION A) GENERAL The NATO Support and Procurement Agency (NSPA - Gov.pl, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.gov.pl/attachment/9d6aff53-a01b-4f67-98e2-627e6071fb84>
 43. Analysis of Alternatives - Adaptive Acquisition Framework, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://aaf.dau.edu/aaf/mca/aoa/>
 44. Defense Acquisition Guidebook Chapter 2 - AoA Cost Estimating Reporting - DAU, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.dau.edu/sites/default/files/2023-09/DAG-CH-2-Analysis-of-Alternatives-Cost-Estimating-and-Reporting.pdf>
 45. Analysis of Alternatives (AoA) | www.dau.edu, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.dau.edu/acquipedia-article/analysis-alternatives-aoa-0>
 46. Handbook - Link - USAF, Analysis of Alternatives | www.dau.edu, доступ

отримано серпня 22, 2025,

<https://www.dau.edu/cop/rqmt/documents/handbook-link-usaf-analysis-alternatives>

47. "Системний аналіз", доступ отримано серпня 22, 2025,
https://library.wunu.edu.ua/files/EVD/IV_06/POSIBN_EK.pdf
48. Освітня програма "Системний аналіз" (бакалавр) в Маріупольському університеті - mu.edu.ua, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://mu.edu.ua/educational-programs/sistemniy-analiz>
49. Системний аналіз: необхідна навичка для кожного ІТ-спеціаліста - DAN IT Education, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://dan-it.com.ua/uk/blog/sistemnij-analiz-neobhidna-navichka-dlja-kozhnogo-it-specialista/>
50. Military Command and Control | RAND, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.rand.org/topics/military-command-and-control.html>
51. ДОСВІД ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТАКТИЧНИХ (БОЙОВИХ) ДІЙ У ПРОФЕСІЙНІ, доступ отримано серпня 22, 2025,
http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21D BN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Npd_2018_2_11.pdf
52. Space Effectiveness Analysis Simulation (SEAS) System. - DTIC, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA323645.pdf>
53. Integrating Operational Energy Implications into System-Level Combat Effects Modeling - RAND, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR800/RR879/RAND_RR879.pdf
54. COMPUTATIONAL METHODS FOR TACTICAL SIMULATIONS - CORE, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://core.ac.uk/download/pdf/39944877.pdf>
55. Delphi Method - RAND, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.rand.org/topics/delphi-method.html>
56. What is the Delphi Method - Pros, Cons, and Examples [2025] - Monday.com, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://monday.com/blog/project-management/delphi-technique/>
57. What Is the Delphi Method, and How Is It Useful in Forecasting? - Investopedia, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.investopedia.com/terms/d/delphi-method.asp>
58. 6.3 The Delphi method | Forecasting: Principles and Practice (3rd ed) - OTexts, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://otexts.com/fpp3/delphimethod.html>
59. Analytic hierarchy process - Wikipedia, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Analytic_hierarchy_process
60. (PDF) USE OF ANALYTIC HIERARCHY PROCESS MODELING IN THE MILITARY DECISION MAKING PROCESS FOR COURSE OF ACTION EVALUATION AND UNIT COHESION - ResearchGate, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/351446225_USE_OF_ANALYTIC_HIERARCHY_PROCESS_MODELING_IN_THE_MILITARY_DECISION_MAKING_PROCESS_FOR_COURSE_OF_ACTION_EVALUATION_AND_UNIT_COHESION

61. Using Analytic Hierarchy Process with Operations - Singapore - DSTA, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.dsta.gov.sg/docs/default-source/dsta-programmes/using-analytic-hierarchy-process-with-operations-analysis-in-project-evaluation.pdf?sfvrsn=2>
62. Analytic hierarchy process as module for productivity evaluation and decision-making of the operation theater - PMC, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4759970/>
63. Military applications of the analytic hierarchy process - ResearchGate, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/264823559_Military_applications_of_the_analytic_hierarchy_process
64. Methodology for Combat Assessment - Joint Chiefs of Staff, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/training/jts/cjcsi_3162_02.pdf?ver=2019-03-13-092459-350
65. Method for Effectiveness Assessment of Electronic Warfare Systems in Cyberspace - MDPI, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.mdpi.com/2073-8994/12/12/2107>
66. Department of Defense Mission Engineering Guide, доступ отримано серпня 22, 2025, https://ac.cto.mil/wp-content/uploads/2023/11/MEG_2_Oct2023.pdf
67. Показники та критерії оцінювання ефективності функціонування ..., доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/article/download/537/658>
68. Sociotechnical system - Wikipedia, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Sociotechnical_system
69. Measuring situation awareness in command and control - USC Research Bank, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://research.usc.edu.au/view/pdfCoverPage?instCode=61USC_INST&filePid=13126868980002621&download=true
70. Physiological records-based situation awareness evaluation under aviation context: A comparative analysis - PubMed Central, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10907521/>
71. Measures of Situation Awareness: Review and Future Directions - DTIC, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA262672.pdf>
72. NASA Task Load Index | Digital Healthcare Research, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://digital.ahrq.gov/health-it-tools-and-resources/evaluation-resources/workflow-assessment-health-it-toolkit/all-workflow-tools/nasa-task-load-index>
73. Psychometric Properties of NASA-TLX and Index of Cognitive Activity as Measures of Cognitive Workload in Older Adults - PMC, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7766152/>
74. A Deeper Look at the NASA TLX and Where It Falls Short | Request PDF - ResearchGate, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/345604280_A_Deeper_Look_at_the_NASA_TLX_and_Where_It_Falls_Short

75. NASA-Task Load Index (NASA-TLX) - 20 Years Later, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://human-factors.arc.nasa.gov/groups/TLX/downloads/HFES_2006_Paper.pdf
76. An Empirical Study of Computer Self-Efficacy and the Technology Acceptance Model in the Military | Request PDF - ResearchGate, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/344922051_An_Empirical_Study_of_Computer_Self-Efficacy_and_the_Technology_Acceptance_Model_in_the_Military
77. The technology acceptance model and adopter type analysis in the context of artificial intelligence - Frontiers, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.frontiersin.org/journals/artificial-intelligence/articles/10.3389/frai.2024.1496518/full>
78. Autonomous Vehicle Acceptance in China: TAM-Based Comparison of Civilian and Military Contexts - MDPI, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.mdpi.com/2032-6653/16/1/2>
79. System Usability Scale (SUS) Practical Guide for 2025 - UXtweak, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://blog.uxtweak.com/system-usability-scale/>
80. How To Use The System Usability Scale (SUS) To Evaluate The Usability Of Your Website, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://usabilitygeek.com/how-to-use-the-system-usability-scale-sus-to-evaluate-the-usability-of-your-website/>
81. Towards Usable E-Health: A Systematic Review of Usability Questionnaires - PMC, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6241759/>
82. Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings of the Human Factors and - ResearchGate, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://www.researchgate.net/profile/Rebecca-Grier-2/publication/273296915_The_System_Usability_Scale/links/6346b32276e39959d6ba9905/The-System-Usability-Scale.pdf
83. МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://sit.nuou.org.ua/article/download/199608/202809/455404>
84. Правова база української кібербезпеки: - IFES Ukraine, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://ifesukraine.org/wp-content/uploads/2019/10/IFES-Ukraine-Ukrainian-Cybersecurity-Legal-Framework-Overview-and-Analysis-2019-10-07-Ukr.pdf>
85. (PDF) КІБЕРБЕЗПЕКА КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ПІД ЧАС ВІЙСЬКОВОЇ ЗАГРОЗИ, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/387737658_KIBERBEZPEKA_KRITICNOI_INFRASTRUKTURI_PID_CAS_VIJSKOVOI_ZAGROZI
86. OPTIMIZING MILITARY EFFICIENCY - USAASC - Army.mil, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://asc.army.mil/web/optimizing-military-efficiency/>
87. Verification and Validation of Systems in Which AI is a Key Element - SEBoK, доступ отримано серпня 22, 2025,

https://sebokwiki.org/wiki/Verification_and_Validation_of_Systems_in_Which_AI_is_a_Key_Element

88. The Status of Test, Evaluation, Verification, and Validation (TEV&V ...), доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.ida.org/-/media/feature/publications/t/th/the-status-of-test-evaluation-verification-and-validation-of-autonomous-systems/p-9292.ashx>
89. DoD Directive 3000.09, "Autonomy in Weapon Systems," January 25, 2023 - Executive Services Directorate, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.esd.whs.mil/portals/54/documents/dd/issuances/dodd/300009p.pdf>
90. TRUSTWORTHINESS FOR AI IN DEFENCE - European Defence ..., доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://eda.europa.eu/docs/default-source/brochures/taid-white-paper-final-09052025.pdf>
91. Explainable Artificial Intelligence: Exploring XAI Techniques in ..., доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.foi.se/rest-api/report/FOI-R--4849--SE>
92. "Explainable" AI Has Some Explaining to Do, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://mit-serc.pubpub.org/pub/pt5lplzb>
93. Evaluating the Effectiveness of XAI Techniques for Encoder-Based Language Models - arXiv, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://arxiv.org/html/2501.15374v1>
94. What Is Explainable AI (XAI)? - Palo Alto Networks, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.paloaltonetworks.com/cyberpedia/explainable-ai>
95. What Do You See? Evaluation of Explainable Artificial Intelligence (XAI) Interpretability through Neural Backdoors - Berkay Celik, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://beerkay.github.io/papers/Berkay2021XAITrojan.pdf>
96. Survey of Explainable AI Techniques in Healthcare - PMC, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9862413/>
97. Quantifying and Predicting Human Performance for Effective Human-Autonomy Teaming - Defence Science and Technology, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://www.dst.defence.gov.au/sites/default/files/basic_pages/documents/ICSILP18Wed1700_Ma-Wyatt_et_al-Human_Performance_for%20HAT.pdf
98. Army, ASU publish human-autonomy communication tips | Article | The United States Army, доступ отримано серпня 22, 2025,
https://www.army.mil/article/245474/army_asu_publish_human_autonomy_communication_tips
99. Testbed for human-autonomy teaming (Testbed4HAT) - SPIE Digital Library, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/13473/0000/Testbed-for-human-autonomy-teaming-Testbed4HAT/10.1117/12.3053992.full>
100. DEVCOM Army Research Laboratory - Understanding and Quantifying Human-Autonomy Shared Situational Awareness - ARL-R-HRED-300051 - Zintellekt, доступ отримано серпня 22, 2025,
<https://www.zintellekt.com/Opportunity/Details/ARL-R-HRED-300051>
101. Human-Autonomy Teaming: A Review and Analysis of the Empirical ..., доступ отримано серпня 22, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9284085/>

102. Human-Autonomy Teaming: Interaction Metrics and Models for Next Generation Combat Vehicle Concepts - DTIC, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://apps.dtic.mil/sti/trecms/pdf/AD1109144.pdf>
103. A Network-Centric Operations Case Study: US/UK Coalition Combat Operations During Operation Iraqi Freedom - GovInfo, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-D-PURL-LPS62202/pdf/GOVPUB-D-PURL-LPS62202.pdf>
104. Iraqi Freedom Lessons Learned - Army Sustainment University, доступ отримано серпня 22, 2025, https://asu.army.mil/alog/2004/julaug04/pdf/july_august.pdf
105. Comparison of Identify-Friend-Foe and Blue-Force Tracking Decision Support for Combat Identification - DTIC, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA538388.pdf>
106. GAO-04-547, Military Operations: Recent Campaigns Benefited from Improved Communications and Technology, but Barriers to Continued Progress Remain, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.gao.gov/assets/a243169.html>
107. В Україні на базі штучного інтелекту розробили систему розвідки - Мілітарний, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://military.com/uk/news/v-ukrayini-na-bazi-shtuchnogo-intelektu-rozrobyly-systemu-rozvidky/>
108. THE SOFTWARE ADVANTAGE - USAASC, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://asc.army.mil/web/news-the-software-advantage/>
109. The Dichotomy of Large-Scale Combat Operations Targeting for a Counterinsurgency Experienced Force - from MIPB, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://mipb.ikn.army.mil/issues/jul-dec-2025/the-dichotomy-of-large-scale-combat-operations-targeting-for-a-counterinsurgency-experienced-force/>
110. Sensemaking in the Fog of War: An Experimental Study of How Command Teams Arrive at a Basis for Action - DiVA portal, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:475840/FULLTEXT01.pdf>
111. Software Life Cycle Management | www.dau.edu, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://www.dau.edu/acquipedia-article/software-life-cycle-management>
112. Why the Software Development Cycle is Crucial for Military Advantage - Systematic, доступ отримано серпня 22, 2025, <https://systematic.com/us/industries/defense/news-knowledge/blog/revise-refresh-improve-repeat/>