

УДК 004.89:629.735.083:658.5

doi: 10.32620/aktt.2026.1.08

Ю. А. ВОРОБІЙОВ, К. В. МАЙОРОВА, А. О. СОСУНОВ

*Національний аерокосмічний університет**«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна*

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОНТОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ДЛЯ ВИБОРУ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЛІТАКОВОГО ТИПУ

Предметом дослідження є процеси формалізованого вибору безпілотних літальних апаратів (БПЛА) літакового типу за призначенням із використанням онтологічної системи підтримки прийняття рішень (ОСППР) та методів економічного аналізу ефективності її впровадження. Актуальність роботи обумовлена стрімким зростанням номенклатури БПЛА, різноманітністю їх тактико-технічних та експлуатаційних характеристик, а також необхідністю оперативного та обґрунтованого прийняття рішень в умовах неповної й суперечливої інформації. Метою роботи є розроблення методики оцінювання економічної ефективності використання ОСППР для вибору БПЛА за призначенням як інвестиційного проекту з урахуванням витрат життєвого циклу та очікуваних економічних вигід. Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання: проаналізовано сучасний стан онтологічних і багатокритеріальних підходів до вибору БПЛА; сформовано модель повної вартості володіння ОСППР; визначено структуру прямих і непрямих економічних вигід від її застосування; розроблено алгоритм розрахунку інтегральних показників ефективності; наведено числовий приклад практичного застосування методики. Результати дослідження полягають у створенні формалізованої методики, що поєднує онтологічне моделювання предметної області з інструментами дисконтованого економічного аналізу та дозволяє кількісно оцінювати ефект від скорочення трудомісткості вибору БПЛА і зменшення очікуваних витрат від помилкових рішень. Висновки підтверджують, що онтологічна система підтримки прийняття рішень може розглядатися не лише як інструмент підвищення якості вибору БПЛА, а й як економічно доцільна інвестиція. Наукова новизна роботи полягає у формалізації економічного ефекту від використання ОСППР у задачах вибору БПЛА. Практичне значення результатів полягає у можливості використання запропонованої методики для техніко-економічного обґрунтування впровадження онтологічних систем підтримки прийняття рішень у науково-дослідних організаціях, на підприємствах авіаційної галузі та в структурах, що експлуатують БПЛА.

Ключові слова: БПЛА; онтологія; система підтримки прийняття рішень; економічна ефективність; повна вартість володіння; NPV; ROI; багатокритеріальний вибір.

Вступ

1.1. Мотивація

Інтенсивний розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та постійне розширення спектра їх застосувань призводять до істотного ускладнення задачі вибору БПЛА за призначенням. Сучасні платформи відрізняються не лише льотно-технічними характеристиками, а й складом корисного навантаження, каналами зв'язку, експлуатаційними обмеженнями, вимогами до технічного обслуговування та економічними параметрами життєвого циклу. За таких умов традиційні експертні підходи до вибору БПЛА, що базуються на неформалізованих процедурах і

ручному аналізі даних, стають дедалі менш ефективними та більш витратними з точки зору часу і ресурсів.

Вагомим економічним чинником є наслідки помилкового або неоптимального вибору платформи БПЛА. Такі помилки призводять до повторних циклів аналізу та перепланування місій, затримок виконання завдань, додаткових польотів і зростання операційних витрат. У ряді випадків втрати від помилкових рішень можуть перевищувати прямі витрати на підготовку вибору, що зумовлює необхідність зниження імовірності таких помилок.

Онтологічні системи підтримки прийняття рішень (ОСППР) створюють можливість формалізованого представлення знань про предметну область БПЛА у вигляді єдиної семантичної моделі. Доменно-орієнтовані онтології



безпілотних авіаційних систем, зокрема Dronetology, демонструють ефективність структурованого представлення знань і їх повторного використання в різних прикладних сценаріях [1]. Поєднання онтологічних моделей із логічними правилами дозволяє формалізовано перевіряти обмеження та відсікати неприйнятні альтернативи ще на ранніх етапах вибору, що підтверджено у дослідженнях з безпечного функціонування UAS у щільному повітряному просторі [2].

Разом із тим, створення та впровадження ОСППР пов'язані з витратами на розробку, наповнення бази знань, супровід і навчання персоналу. Це зумовлює необхідність обґрунтування доцільності впровадження ОСППР у термінах економічної ефективності з використанням показників чистої приведеної вартості, рентабельності інвестицій та строку окупності, характерних для cost-benefit аналізу цифрових систем [3].

1.2. Сучасний стан досліджень

Онтологічні підходи до моделювання предметної області безпілотних авіаційних систем активно розвиваються у сучасних дослідженнях. У роботі Martín-Lammerding, Astrain та Córdoba запропоновано доменну онтологію Dronetology, орієнтовану на систематизацію знань про UAS та підтримку повторного використання моделей у різних прикладних сценаріях [1]. Подальший розвиток онтологічних систем представлено у дослідженнях, присвячених уникненню конфліктів і зіткнень БПЛА у щільному повітряному просторі, де онтології використовуються для формалізації обмежень і правил прийняття рішень [2].

Проблематика ситуаційної обізнаності та підтримки прийняття рішень на основі онтологій розглянута у роботі Insaurralde та Blasch, де показано ефективність семантичного підходу для інтелектуальних систем управління повітряним простором [4]. У зазначених роботах основний акцент зроблено на технічних і функціональних аспектах онтологічних систем, тоді як економічна доцільність їх впровадження не аналізується.

Для ранжування допустимих альтернатив у задачах вибору БПЛА широко застосовуються методи багатокритеріального аналізу. Зокрема, у роботі Kizielewicz та співавторів запропоновано багатокритеріальну систему підтримки прийняття рішень для оцінювання UAV-рішень у прикладних доменах [5]. Аналогічні підходи з використанням методів TOPSIS та AHP розглядаються в роботах Gao та співавторів [6] і Hwang та Yoon [7]. Водночас зазначені дослідження не враховують витрати на

створення та експлуатацію відповідних інтелектуальних систем.

Методичні основи економічної оцінки цифрових проєктів, включаючи cost-benefit аналіз і застосування дисконтованих показників ефективності, представлені у роботах Nguyen та співавторів, а також Novikova та співавторів [3, 8]. Однак ці підходи не адаптовані безпосередньо до задач онтологічної підтримки вибору БПЛА та не враховують специфіку зниження ризику помилкових рішень.

Таким чином, попри значну кількість публікацій з онтологічного моделювання та багатокритеріального вибору БПЛА, відсутня цілісна методика кількісного оцінювання економічної ефективності використання ОСППР, що й визначає наукову проблему даного дослідження.

1.3. Мета, завдання та підхід до дослідження

Метою статті є розроблення формалізованої методики оцінювання економічної ефективності використання ОСППР для вибору БПЛА за призначенням.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі завдання:

- 1) проаналізувати сучасні онтологічні та багатокритеріальні підходи до вибору БПЛА;
- 2) сформулювати структури витрат на створення та експлуатацію ОСППР;
- 3) визначити склад економічних вигід від використання ОСППР у процесі вибору БПЛА;
- 4) розробити алгоритм розрахунку інтегральних показників економічної ефективності;
- 5) продемонструвати застосування методики на числовому прикладі.

Підхід до дослідження базується на поєднанні онтологічного моделювання предметної області БПЛА, багатокритеріальних методів прийняття рішень та інструментів дисконтованого економічного аналізу. Онтологічна складова забезпечує формалізацію знань, логічну узгодженість альтернатив і зменшення простору пошуку, тоді як економічна складова дозволяє оцінити доцільність впровадження ОСППР як інвестиційного проєкту.

Стаття структурована таким чином: у розділі 2 наведено матеріали та методи дослідження; у розділі 3 подано приклад реалізації методики; у розділі 4 виконано обговорення отриманих результатів; у розділі 5 сформульовано висновки та напрями подальших досліджень.

2. Матеріали та методи дослідження

Методологічною основою дослідження є поєднання онтологічного моделювання знань про БПЛА та їх місії, процедур багатокритеріального вибору альтернатив і методів дисконтованого економічного аналізу. Онтологічне моделювання забезпечує формалізоване представлення знань про безпілотні авіаційні системи та їх застосування, що підтверджено у роботі Martín-Lammerding, Astrain та Córdoba [1]. Використання онтологічних правил для перевірки сумісності альтернатив і відсікання неприйнятних варіантів розглянуто у дослідженні, присвяченому уникненню конфліктів і зіткнень БПЛА у щільному повітряному просторі [2]. Підходи до онтологічної підтримки прийняття рішень у складних предметних областях, зокрема для задач ситуаційної обізнаності, наведені у роботі Insaurralde та Blasch [3].

Процедури багатокритеріального вибору використовуються для ранжування допустимих альтернатив БПЛА після логічної фільтрації. Застосування багатокритеріальних методів у задачах вибору та оцінювання безпілотних систем розглядається у роботі Kizielewicz та співавторів [4], а також у дослідженнях, присвячених використанню нечітких і оргопарних множин для вибору БПЛА [5, 6].

Методи дисконтованого економічного аналізу використовуються для оцінювання доцільності впровадження ОСППР як інвестиційного проекту. Практичні підходи до застосування cost-benefit аналізу для цифрових систем наведені у роботі Nguyen та співавторів [7]. Використання показників чистої приведеної вартості та внутрішньої норми рентабельності для оцінювання проектів цифрової трансформації розглянуто у дослідженні Novikova та співавторів [8].

Сукупні витрати на впровадження ОСППР включають:

- капітальні витрати на розробку або адаптацію онтологічної моделі, програмної платформи та інтерфейсів;
- витрати на наповнення та валідацію бази знань;
- витрати на навчання персоналу;
- операційні витрати на супровід і оновлення системи.

Економічний ефект від використання ОСППР формується за рахунок:

- скорочення часу прийняття рішень;
- зменшення кількості помилкових або неузгоджених рішень;
- зниження ризику вибору невідповідної платформи БПЛА для конкретної місії.

2.1. Постановка задачі оцінювання та вихідні припущення

Оцінювання виконується у вигляді порівняння двох сценаріїв:

1. **AS-IS (0)**: вибір БПЛА без ОСППР (експертно/ручний аналіз, таблиці, ізольовані розрахунки).

2. **TO-BE (1)**: вибір БПЛА з використанням ОСППР (семантична модель + правила/логічна фільтрація + інтегрований MCDM-розрахунок).

Нехай:

T – горизонт оцінки (роки), r – ставка дисконту;

N_k – кількість задач вибору БПЛА (або конфігурації) в році k ;

t_0, t_1 – середня трудомісткість (люд.-год/задачу) у сценаріях AS-IS і TO-BE;

c_h – вартість людино-години з накладними;

P_0, P_1 – імовірність помилкового/невдалого вибору;

L – очікувані втрати від одного помилкового вибору (грн/випадок);

C_k – витрати володіння ОСППР у році k ;

V_k – вигоди (економічний ефект) у році k ;

$CF_k = V_k - C_k$ – чистий грошовий потік.

2.2. Методика розрахунку економічної ефективності

Загальна логіка

(Cost-Benefit + дисконтовані індикатори)

Запропонована методика трактує впровадження ОСППР як інвестиційний проект: порівнюються витрати життєвого циклу та монетизовані вигоди, далі обчислюються NPV/IRR/строк окупності. Такий підхід узгоджується з cost-benefit практикою економічної оцінки цифрових проектів [7, 8]. Важливою особливістю є те, що вигоди ОСППР мають двокомпонентну природу:

- 1) **пряма економія часу** (підготовка рішення);
- 2) **зменшення очікуваних втрат** через помилкові/неоптимальні рішення.

Онтологічний шар (структура знань + правила) додатково дає ефект повторного використання знань і масштабованості, що характерно для доменних UAS-онтологій [1, 2] і впливає на граничні витрати при розширенні системи.

Крок 1 – Модель витрат: ПВВ впровадження ОСППР

Повна вартість володіння ОСППР визначається як сума одноразових (CAPEX) і періодичних (OPEX) витрат.

Одноразові витрати C^{cap} .

Сумарні капітальні (одноразові) витрати на створення та впровадження ОСППР

$$C^{\text{cap}} = C_{\text{dev}} + C_{\text{data}} + C_{\text{train}} + C_{\text{deploy}} + C_{\text{hw}}, \quad (1)$$

де C_{dev} – витрати на розроблення онтологічної моделі та програмного ядра ОСППР;

C_{data} – витрати на збирання, підготовку, структурування та наповнення бази знань і довідкових даних (характеристики БПЛА, профілі місій, обмеження тощо);

C_{train} – витрати на навчання персоналу та формування навичок роботи з ОСППР;

C_{deploy} – витрати на розгортання, інтеграцію ОСППР у наявну інформаційну інфраструктуру та первинне налаштування;

C_{hw} – витрати на апаратне забезпечення та супутню інфраструктуру (сервери, мережеві ресурси тощо).

Щорічні витрати C_k^{op} .

Експлуатаційні витрати на функціонування ОСППР у k -му розрахунковому періоді (році)

$$C_k^{\text{op}} = C_{\text{maint},k} + C_{\text{host},k} + C_{\text{lic},k} + C_{\text{sec},k} + C_{\text{support},k}, \quad (2)$$

де $C_{\text{maint},k}$ – витрати на технічне обслуговування та супровід програмних компонентів ОСППР у k -му періоді, грн;

$C_{\text{host},k}$ – витрати на хостинг, серверні ресурси та обчислювальну інфраструктуру для розміщення ОСППР у k -му періоді, грн;

$C_{\text{lic},k}$ – витрати на ліцензування програмного забезпечення, платформ та інструментів, що використовуються в ОСППР, у k -му періоді (за потреби), грн;

$C_{\text{sec},k}$ – витрати на забезпечення інформаційної безпеки, резервного копіювання та захисту даних ОСППР у k -му періоді, грн;

$C_{\text{support},k}$ – витрати на користувацьку та

методичну підтримку, консультації і супровід експлуатації ОСППР у k -му періоді, грн;

k – номер розрахункового періоду (року) аналізу.

Загальні витрати за роками C_k .

Загальні витрати на використання ОСППР у k -му розрахунковому періоді (році)

$$C_k = \begin{cases} C^{\text{cap}} + C_k^{\text{op}}, & k = 1, \\ C_k^{\text{op}}, & k = 2 \dots T \end{cases}, \quad (3)$$

де C^{cap} – капітальні (одноразові) витрати на створення та впровадження ОСППР, грн;

C_k^{op} – експлуатаційні витрати на функціонування ОСППР у k -му періоді, грн;

T – загальний горизонт розрахунку економічної ефективності використання ОСППР, років.

Коментар щодо масштабування: якщо ОСППР поширюється на кілька підрозділів/напрямів, то онтологія як спільний «каркас знань» дозволяє повторне використання термінів і правил, а отже зменшує граничні витрати на підключення нових випадків застосування [1, 2].

Крок 2 – Модель вигід: пряма економія + зниження очікуваних витрат

Вигоди V_k рекомендується розкласти на прямі та непрямі.

Пряма економія трудових витрат V_k^{time} .

Економічний ефект у k -му розрахунковому періоді (році), отриманий за рахунок скорочення трудових витрат на вибір БПЛА при використанні ОСППР

$$V_k^{\text{time}} = N_k (t_0 - t_1) c_h, \quad (4)$$

де N_k – кількість задач вибору БПЛА за призначенням, що виконуються у k -му періоді;

t_0 – середня тривалість (трудомісткість) одного циклу вибору БПЛА без ОСППР, люд.-год;

t_1 – середня тривалість (трудомісткість) одного циклу вибору БПЛА з використанням ОСППР, люд.-год;

c_h – вартість однієї людино-години роботи експерта (з урахуванням накладних витрат), грн/год.

Зменшення t_1 забезпечується:

– швидким доступом до структурованих

характеристик БПЛА (семантична модель);

- логічною фільтрацією несумісних/невідповідних альтернатив правилами;
- стандартизованим формуванням пояснення/протоколу рішення.

Такі властивості типові для онтологічно-керованих рішень у домені UAS, що підтверджується результатами застосування доменних онтологій безпілотних авіаційних систем [1], використанням онтологічних правил для перевірки обмежень і відсікання неприйнятних альтернатив [2], а також дослідженнями з ОСППР у складних предметних областях [3]

Непрямий ефект: зниження очікуваних втрат від помилкових рішень

Онтологічний шар зменшує частоту помилок, пов'язаних із неповними/суперечливими даними, неправильними припущеннями або ігноруванням критичних обмежень. Це підтверджується сучасними роботами, де онтології застосовуються для підвищення безпеки та коректності рішень у UAS-операціях [2, 3], а також для систематизації знань про застосування UAS [1].

Економічний ефект у k -му розрахунковому періоді (році), обумовлений зменшенням очікуваних втрат від помилкового або неоптимального вибору БПЛА внаслідок використання ОСППР

$$B_k^{\text{risk}} = N_k (p_0 - p_1) L, \quad (5)$$

де p_0 – імовірність помилкового або неоптимального вибору БПЛА без ОСППР;

p_1 – імовірність помилкового або неоптимального вибору БПЛА з використанням ОСППР;

L – середні економічні втрати від одного помилкового вибору БПЛА, що включають витрати на повторний вибір, перепланування, затримки виконання місії та додаткові операційні витрати, грн.

Втрати від помилки доцільно деталізувати. Сумарні економічні втрати від одного помилкового або неоптимального вибору БПЛА

$$L = L_{\text{replan}} + L_{\text{delay}} + L_{\text{op}} + L_{\text{loss}}, \quad (6)$$

де L_{replan} – втрати, пов'язані з повторним плануванням місії та повторним вибором БПЛА (додаткові трудові та організаційні витрати), грн;

L_{delay} – втрати, зумовлені затримкою виконання місії або перенесенням строків її реалізації, грн;

L_{op} – додаткові операційні витрати, що

виникають унаслідок використання невідповідної платформи БПЛА (паливо, ресурс, обслуговування тощо), грн;

L_{loss} – втрати від недоотриманого результату або негативних наслідків місії (зниження якості даних, зрив завдання, фінансові санкції, репутаційні втрати), грн.

Додаткові ефекти (за наявності даних)

У випадку, коли організація може монетизувати підвищення якості рішень через результати місії (наприклад, підвищення доходності/економії від точнішого моніторингу), вводиться економічний ефект у k -му розрахунковому періоді (році), обумовлений підвищенням результативності виконання місії завдяки використанню ОСППР

$$B_k^{\text{mis}} = N_k (q_1 - q_0) V_{\text{mis}}, \quad (7)$$

де N_k – кількість місій (або задач вибору БПЛА для місії), що виконуються у k -му періоді;

q_1 – імовірність успішного виконання місії або досягнення цільового результату з використанням ОСППР;

q_0 – імовірність успішного виконання місії або досягнення цільового результату без використання ОСППР;

V_{mis} – середня економічна цінність (вартість) успішного виконання однієї місії або досягнення цільового результату, грн.

Цей компонент залежить від домену та доступності статистики; методика допускає його як опціональний, без впливу на базову частину (час + помилки).

Сумарний економічний ефект від використання ОСППР у k -му розрахунковому періоді (році) має вигляд

$$B_k = B_k^{\text{time}} + B_k^{\text{risk}} + B_k^{\text{mis}} + B_k^{\text{other}}, \quad (8)$$

де B_k^{other} – інші економічні ефекти у k -му періоді, які не були явно враховані у попередніх складових (наприклад, зменшення адміністративних витрат, підвищення прозорості рішень, скорочення часу підготовки звітності), грн.

Крок 3 – Показники ефективності (NPV/ROI/DPP)

Чистий грошовий потік

Чистий грошовий потік від використання ОСППР у k -му розрахунковому періоді (році)

$$CF_k = B_k - C_k, \quad (9)$$

де B_k – сумарний економічний ефект (вигоди) від використання онтологічної системи підтримки прийняття рішень у k -му періоді, грн;

C_k – загальні витрати на використання ОСППР

у k -му періоді, грн.

NPV

Чиста приведена вартість проекту впровадження ОСППР

$$NPV = \sum_{k=1}^T \frac{CF_k}{(1+r)^k}, \quad (10)$$

де r – ставка дисконту, що враховує альтернативну вартість капіталу та ризику реалізації проекту;

k – номер розрахункового періоду (року);

T – загальний горизонт оцінювання економічної ефективності проекту, років.

Критерій доцільності: $NPV > 0$. Використання NPV та суміжних дисконтованих індикаторів відповідає практиці економічної оцінки цифрових проектів [7, 8].

ROI

показник рентабельності інвестицій у впровадження ОСППР

$$ROI = \frac{\sum_{k=1}^T (B_k - C_k)}{\sum_{k=1}^T C_k} \cdot 100\%. \quad (11)$$

Дисконтований строк окупності (DPP)

Мінімальний номер періоду t , починаючи з якого дисконтований накопичений грошовий потік стає невід'ємним та проект досягає окупності розраховують із виразу

$$\sum_{k=1}^t \frac{CF_k}{(1+r)^k}. \quad (12)$$

Крок 4 – Сценарний та чутливісний аналіз

Оскільки параметри p_0 , p_1 , L та навіть N можуть мати невизначеність, методика передбачає:

1) Сценарій:

песимістичний/базовий/оптимістичний для $(t_0 - t_1)$, $(p_0 - p_1)$, L .

2) Чутливість: варіювання ключових параметрів на $\pm 10 \dots 30\%$ для оцінки впливу на NPV і DPP.

3) Ризикові допущення: розділення L на складові дозволяє краще обґрунтовувати оцінки та відсікти спірні компоненти.

У контексті цифрової трансформації (digital thread/digital twin) важливими є аспекти трасованості та керованості знань і даних, що реалізуються в межах підходу digital thread [9]. Застосування концепції digital twin в авіаційних та виробничих системах забезпечує повторне використання цифрових артефактів і зменшення невизначеності, що може опосередковано впливати на вартісні показники проектів [10, 11].

2.3. Регламент збору вихідних даних для розрахунку

Для забезпечення відтворюваності розрахунків рекомендується сформулювати «паспорт оцінювання», що включає:

1. Реєстр задач вибору: дата, тип місії, обмеження, кількість кандидатів, вихідні дані.

2. Тайм-трекінг процесу: t_0 та t_1 з розбиттям на етапи.

3. Картка якості рішення: чи потребувало рішення повторного вибору/перепланування; чи виникли несумісності/невідповідності.

4. Оцінка втрат L : облік додаткових витрат на вильоти/логістику/затримки/інциденти.

5. Кошторис ОСППР: CAPEX/OPEX, витрати на оновлення знань.

Рекомендована мінімальна вибірка для пілоту – 20–30 задач до та після застосування ОСППР. Такий підхід дозволяє обґрунтовано оцінити Δt і Δp , не спираючись лише на експертні припущення, і узгоджується з практикою оцінювання економічного ефекту цифрових проектів [7, 8].

3. Приклад розрахунку NPV/окупності

Розглянемо організацію, що виконує вибір БПЛА для задач моніторингу/інспекції. Обираємо консервативний сценарій, де вигоди оцінюються лише через економію часу й зменшення помилок (без монетизації «цінності місії»), що відповідає підходу cost-benefit для цифрових систем [7, 8].

3.1. Вихідні дані

Потік задач: $N = 180$ задач/рік (≈ 15 /місяць).

Трудомісткість: $t_0 = 6,0$ год, $t_1 = 2,5$ год \Rightarrow

$\Delta t = 3,5$ год/задачу.

Вартість людино-години: $c_h = 600$ грн/год (із накладними).

Ймовірність помилкового вибору: $p_0 = 0,12$,
 $p_1 = 0,06 \Rightarrow \Delta p = 0,06$.

Очікувані втрати від помилки:
 $L = 50000$ грн/випадок.

Дисконт: $r = 0,16$ (16 % річних).

Горизонт: $T = 5$ років.

Витрати ОСППР: одноразові $C^{cap} = 900000$ грн (перший рік), щорічні $C^{op} = 240000$ грн/рік.

3.2. Річні вигоди

(А) Економія часу

$V^{time} = N \Delta t c_h = 180 \cdot 3,5 \cdot 600 = 378\,000$ грн/рік.

(В) Зменшення втрат від помилок

$V^{risk} = N \Delta p L = 180 \cdot 0,06 \cdot 50\,000 = 540\,000$ грн/рік.

Сумарно $V = 918\,000$ грн/рік.

Концептуально зниження помилок узгоджується з онтологічно керованими підходами до підтримки вибору БПЛА, що забезпечують формалізоване представлення знань і зменшення невідповідностей [1], а також із застосуванням онтологічних правил для коректного урахування обмежень у UAS-операціях [2, 3].

3.3. Витрати та грошові потоки

Рік 1:

$C_1 = C^{cap} + C^{op} = 900\,000 + 240\,000 = 1\,140\,000$ грн/рік,

$C F_1 = V - C_1 = 918\,000 - 1\,140\,000 = -222\,000$ грн.

Роки 2...5:

$C_{2..5} = 240\,000$ грн/рік,

$C F_{2..5} = 918\,000 - 240\,000 = 678\,000$ грн.

3.4. Розрахунок NPV

$$NPV = \sum_{k=1}^5 \frac{C F_k}{(1+r)^k}, \quad (13)$$

Обчислимо дисконтовані потоки:

$PV_1 = -222\,000/1,16 = -191\,379$ грн;

$PV_2 = 678\,000/1,16^2 \approx 503\,864$ грн;

$PV_3 = 678\,000/1,16^3 \approx 434\,366$ грн;

$PV_4 = 678\,000/1,16^4 \approx 374\,454$ грн;

$PV_5 = 678\,000/1,16^5 \approx 322\,804$ грн.

Тоді $NPV = -191\,379 + 503\,864 + 434\,366 + 374\,454 +$

$+322\,804 = 1\,444\,109$ грн.

Отже, проєкт економічно доцільний (позитивний NPV), що відповідає критеріям cost-benefit оцінювання цифрових проєктів [8, 9].

3.5. Окупність

Проста окупність:

після року 1 маємо $-222\,000$ грн, у році 2 отримуємо $+678\,000$ грн:

$$PP \approx 1 + \frac{222\,000}{678\,000} \approx 1,33 \text{ років.}$$

Дисконтована окупність:

$$DPP \approx 1 + \frac{191\,379}{503\,864} \approx 1,38 \text{ років.}$$

3.6. Коментар щодо чутливості

Найвпливовіші параметри: Δp та L (ціна помилки), а також Δt та c_h . На практиці доцільно сформувані три сценарії (песимістичний/базовий/оптимістичний) і виконати однофакторний аналіз $\pm 20\%$ для Δt , Δp , L , C^{cap} , C^{op} . Такий підхід є стандартним для CBA/NPV і підвищує довіру до результатів [7, 8].

4. Обговорення результатів

Отримані результати узгоджуються з підходами до економічного оцінювання впровадження цифрових систем підтримки прийняття рішень у високотехнологічних галузях, у яких показано доцільність використання формалізованих моделей для обґрунтування управлінських рішень [11].

Отримані в роботі результати підтверджують доцільність використання ОСППР для вибору БПЛА за призначенням не лише з позицій підвищення якості рішень, але й з точки зору економічної ефективності. Запропонована методика дозволяє формалізувати економічний ефект впровадження ОСППР у вигляді сукупності чітко інтерпретованих складових, що охоплюють як скорочення трудових витрат, так і зниження ризиків помилкових рішень та підвищення результативності місії [12].

Аналіз складової V_k^{time} показує, що автоматизація процесів аналізу вимог, перевірки сумісності та ранжування альтернатив БПЛА забезпечує істотне зменшення трудомісткості підготовки рішень. Особливо помітним цей ефект є в організаціях, де кількість задач вибору N_k є значною або має тенденцію до зростання. За таких умов навіть помірне скорочення часу одного циклу вибору

$(t_0 - t_1)$ призводить до суттєвого кумулятивного економічного ефекту протягом горизонту аналізу [13].

Складова V_k^{risk} відображає зменшення очікуваних витрат від помилкового або неоптимального вибору БПЛА. Важливо відзначити, що ОСППР впливає на цей показник не лише через зменшення імовірності помилки $(p_0 - p_1)$, але й через систематизацію знань про обмеження застосування, що дозволяє уникати критичних сценаріїв ще на ранніх етапах прийняття рішення. Таким чином, економічний ефект цієї складової є непрямим, але часто більш значущим, ніж безпосередня економія робочого часу [12].

Запропоноване розкладання витрат L на компоненти L_{replan} , L_{delay} , L_{op} та L_{loss} дозволяє адаптувати методику до специфіки конкретної організації або домену застосування БПЛА. Наприклад, у задачах моніторингу критичної інфраструктури найбільшу вагу можуть мати втрати від затримки виконання місії, тоді як у комерційних проєктах – втрати від недоотриманого результату або контрактних штрафів. Це підкреслює універсальність запропонованого підходу та можливість його калібрування під реальні умови експлуатації [14].

Додаткова складова V_k^{mis} , пов'язана з підвищенням імовірності успішного виконання місії, у ряді практичних сценаріїв може стати домінуючою в структурі сумарного ефекту, що узгоджується з результатами застосування ОСППР у складних предметних областях [15]. Використання онтологічної моделі дозволяє більш точно зіставляти вимоги місії з можливостями платформ БПЛА, що підвищує показник успішності q_1 порівняно з традиційними, переважно експертними підходами. У довгостроковій перспективі ця складова може стати домінуючою в структурі сумарного ефекту V_k .

Сумарний економічний ефект V_k , сформований як сума часткових складових, інтегрується з витратною частиною C_k у показники чистого грошового потоку CF_k , чистої приведенної вартості NPV та рентабельності інвестицій ROI. Це дозволяє розглядати впровадження ОСППР як повноцінний інвестиційний проєкт і порівнювати його з альтернативними цифровими ініціативами на єдиній методологічній основі [10, 11].

Важливою особливістю запропонованої методики є її масштабованість. Зі зростанням кількості задач вибору БПЛА та ускладненням предметної області ефект від впровадження ОСППР зростає швидше, ніж витрати на її супровід. Це

робить такі системи особливо привабливими для організацій, що працюють з різномірним парком БПЛА та динамічними вимогами до місії [16].

Разом з тим, слід зазначити, що точність кількісної оцінки економічної ефективності значною мірою залежить від якості вхідних даних і коректності експертних оцінок параметрів p_0 , p_1 , q_0 , q_1 та V_{mis} . Це зумовлює доцільність використання пілотних впроваджень та накопичення статистичних даних для подальшого уточнення параметрів моделі [13].

Таким чином, результати обговорення свідчать, що запропонована методика не лише забезпечує формалізовану оцінку економічної ефективності використання ОСППР, але й створює підґрунтя для обґрунтованого управлінського вибору щодо доцільності її впровадження та масштабування в системах підтримки прийняття рішень у сфері застосування БПЛА.

5. Висновки

1. Розроблено методику оцінювання економічної ефективності застосування онтологічної ОСППР для вибору БПЛА за призначенням на основі TCO та дисконтованих індикаторів (NPV/ROI/дисконтована окупність).

2. Економічний ефект формалізовано як суму прямої економії трудових витрат і непрямого ефекту від зменшення очікуваних витрат через помилкові/невдалі рішення; показано роль онтологічного шару у зниженні помилок та підвищенні коректності обмежень.

3. Запропоновано алгоритм практичного розрахунку для ТЕО, який включає пілотні вимірювання, сценарний і чутливісний аналіз.

4. Наведено числовий приклад, який демонструє, що за реалістичних параметрів потоку задач і вартості помилки проєкт може мати позитивний NPV та окупність близько 1,3–1,4 року.

5. Методика може бути адаптована до різних класів місії і організаційних умов; додатковий контекст цифрової нитки/двійника може використовуватися для посилення аргументації керованості знань та трасованості.

6. Подальші дослідження доцільно спрямувати на інтеграцію ОСППР з цифровими двійниками та цифровими нитками БПЛА для підвищення трасованості рішень і точності економічних оцінок.

Внесок авторів: концептуалізація дослідження, формулювання мети та завдань, розроблення методики економічного оцінювання, аналіз результатів і формулювання висновків –Ю. А.

Воробйов; аналіз сучасного стану досліджень, участь у формуванні моделей витрат і вигід – **К. В. Майорова**; участь у розробленні прикладу реалізації, написання тексту – **А. О. Сосунов**

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо матеріалів цієї публікації, фінансового, особистого, авторського чи іншого, який міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Рукопис не має пов'язаних даних.

Використання засобів штучного інтелекту

Автори підтверджують, що використовували технології штучного інтелекту для пошуку сучасних джерел інформації.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література

1. Martín-Lammerding, D. *Dronetology: A domain ontology for UAS applications [Text]* / D. Martín-Lammerding, J. J. Astrain, & A. Córdoba // *Knowledge-Based Systems*. – 2025, – Vol. 327. – Article no. 114074. DOI: 10.1016/j.knosys.2025.114074.
2. *An ontology-based system to avoid UAS flight conflicts and collisions in dense traffic scenarios [Text]* / D. Martín-Lammerding, J. J. Astrain, A. Córdoba, & J. Villadangos // *Expert Systems with Applications*. – 2023. – Vol. 215. – Article no. 119027. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.119027.
3. Insaurrealde, C. C. *Ontological airspace-situation awareness for decision system support [Text]* / C. C. Insaurrealde, & E. Blasch // *Aerospace*. – 2024. – Vol. 11, iss. 11. – Article no. 942. DOI: 10.3390/aerospace11110942.
4. Kizielewicz, B. *Multi-criteria decision support system for the evaluation of UAV intelligent agricultural sensors [Text]* / B. Kizielewicz, J. Wątróbski, & W. Salabun // *Artificial Intelligence Review*. – 2025. – Vol. 58. – Article no. 194. DOI: 10.1007/s10462-025-11201-1.
5. Gao, F. *An integrated multi criteria decision making method using dual hesitant fuzzy sets with application for unmanned aerial vehicle selection [Text]* / F. Gao // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15. – Article no. 12637. DOI: 10.1038/s41598-025-95981-0.
6. Turanoğlu Şirin, B. *Evaluation of unmanned combat aerial vehicles using q-rung orthopair fuzzy entropy based multi-attribute border approximation area comparison method [Text]* / B. Turanoğlu Şirin // *Operational Research*. – 2025. – Vol. 25. – Article no. 71. DOI: 10.1007/s12351-025-00952-y.
7. *Cashing in: cost-benefit analysis framework for digital hospitals [Text]* / K.-H. Nguyen, T. Comans, T. T. Nguyen, D. Simpson, L. Woods, C. Wright, & C. Sullivan // *BMC Health Services Research*. – 2024. – Vol. 24. – Article no. 694. DOI: 10.1186/s12913-024-11132-7.
8. Novikova, T. *Economic evaluation of digital transformation projects using NPV and IRR [Text]* / T. Novikova, Y. Guo, & J. Abou Jaoude // *Frontiers in Public Health*. – 2023. – Vol. 11. – Article no. 1073964. DOI: 10.3389/fpubh.2023.1073964.
9. Abdel-Aty, T. A. *Conceptualizing the digital thread for smart manufacturing: a systematic literature review [Text]* / T. A. Abdel-Aty, & E. Negri // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – 2024. – Vol. 35. – P. 3629–3653. DOI: 10.1007/s10845-024-02407-1.
10. *Early concurrent engineering in the aerospace industry supported by a digital thread framework [Text]* / E. Duverger, A. Aubry, E. Levrat, & R. Arista // *IFAC-PapersOnLine* – 2024. – Vol. 58, iss. 19. – P. 510–515. DOI: 10.1016/j.ifacol.2024.09.263.
11. Kabashkin, I. *Ontology-driven digital twin framework for aviation maintenance and operations [Text]* / I. Kabashkin // *Mathematics*. – 2025. – Vol. 13, iss. 17. – Article no. 2817. DOI: 10.3390/math13172817.
12. *Economic Evaluation Evidence for Resource-Allocation Decision Making: Bridging the Gap for Local Decision Makers Using English Case Studies [Text]* / D. Howdon, J. Lomas, M. Paulden, & et al. // *Appl Health Econ Health Policy*. – 2022. – Vol. 20. – P. 783–972. DOI: 10.1007/s40258-022-00756-7.
13. *An ontology-based personalization of health-care knowledge to support clinical decisions for chronically ill patients [Text]* / D. Riaño, F. Real, J. A. López-Vallverdú, F. Campana, & et al. // *Journal of Biomedical Informatics*. – 2022. – Vol. 45, iss. 3. – P. 429-446. DOI: 10.1016/j.jbi.2011.12.008.
14. Vrandečić, D. *Wikidata: a free collaborative knowledgebase [Text]* / D. Vrandečić, & M. Krötzsch // *Communications of the ACM*. – 2014. – Vol. 57, iss. 10. – P. 78–85. DOI: 10.1145/2629489.
15. McDaniel, M., *Evaluating domain ontologies: clarification, classification, and challenges [Text]* / M. McDaniel, & V. C. Storey // *ACM Computing Surveys*. – 2019. – Vol. 52, iss. 4. – Article no. 76. DOI: 10.1145/3329124.
16. Slipchenko, V. *Decision-making models for complex the eco-energy-economic monitoring system*

[Text] / V. Slipchenko, L. Poliahushko, & D. Kravchuk // *Computer Systems and Information Technologies*. – 2024. – Vol. 4. – P. 107–115. DOI: 10.31891/csit-2024-4-13.

References

1. Martín-Lammerding, D., Astrain, J. J., & Córdoba, A. Dronetology: A domain ontology for UAS applications. *Knowledge-Based Systems*, 2025, vol. 327, article no. 114074. DOI: 10.1016/j.knosys.2025.114074.
2. Martín-Lammerding, D., Astrain, J. J., Córdoba, A., & Villadangos, J. An ontology-based system to avoid UAS flight conflicts and collisions in dense traffic scenarios. *Expert Systems with Applications*, 2023, vol. 215, article no. 119027. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.119027.
3. Insaurrealde, C. C., & Blasch, E. Ontological airspace-situation awareness for decision system support. *Aerospace*, 2024, vol. 11, iss. 11, article no. 942. DOI: 10.3390/aerospace11110942.
4. Kizielewicz, B., Wątróbski, J., & Sałabun, W. Multi-criteria decision support system for the evaluation of UAV intelligent agricultural sensors. *Artificial Intelligence Review*, 2025, vol. 58, article no. 194. DOI: 10.1007/s10462-025-11201-1.
5. Gao, F. An integrated multi criteria decision making method using dual hesitant fuzzy sets with application for unmanned aerial vehicle selection. *Scientific Reports*, 2025, vol. 15, article no. 12637. DOI: 10.1038/s41598-025-95981-0.
6. Turanoğlu Şirin, B. Evaluation of unmanned combat aerial vehicles using q-rung orthopair fuzzy entropy based multi-attribute border approximation area comparison method *Operational Research*, 2025, vol. 25, article no. 71. DOI: 10.1007/s12351-025-00952-y.
7. Nguyen, K.-H., Comans, T., Nguyen, T. T., Simpson, D., Woods, L., Wright, C., & Sullivan, C. Cashing in: cost-benefit analysis framework for digital hospitals. *BMC Health Services Research*, 2024, vol. 24, Article no. 694. DOI: 10.1186/s12913-024-11132-7.
8. Novikova, T., Guo, Y., Abou Jaoude, J., & Tannous, W. Economic evaluation of digital

transformation projects using NPV and IRR. *Frontiers in Public Health*, 2023, vol. 11, article no. 1073964. DOI: 10.3389/fpubh.2023.1073964.

9. Abdel-Aty, T. A., & Negri, E. Conceptualizing the digital thread for smart manufacturing: a systematic literature review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2024, vol. 35, pp. 3629–3653. DOI: 10.1007/s10845-024-02407-1.

10. Duverger, E., Aubry, A., Levrat, E., & Arista, R. Early concurrent engineering in the aerospace industry supported by a digital thread framework. *IFAC-PapersOnLine*, 2024, vol. 58, iss. 19, pp. 510–515. DOI: 10.1016/j.ifacol.2024.09.263.

11. Kabashkin, I. Ontology-driven digital twin framework for aviation maintenance and operations. *Mathematics*, 2025, vol. 13, iss. 17, article no. 2817. DOI: 10.3390/math13172817.

12. Howdon, D., Lomas, J., Paulden, M., & et al. Economic Evaluation Evidence for Resource-Allocation Decision Making: Bridging the Gap for Local Decision Makers Using English Case Studies. *Appl Health Econ Health Policy*, 2022, vol. 20, pp. 783–972. DOI: 10.1007/s40258-022-00756-7.

13. Riaño, D., Real, F., López-Vallverdú, J. A., Campana, F., & et al. An ontology-based personalization of health-care knowledge to support clinical decisions for chronically ill patients. *Journal of Biomedical Informatics*, 2022, vol. 45, iss. 3, pp. 429–446. DOI: 10.1016/j.jbi.2011.12.008.

14. Vrandečić, D., & Krötzsch, M. Wikidata: a free collaborative knowledgebase. *Communications of the ACM*, 2014, vol. 57, iss. 10, pp. 78–85. DOI: 10.1145/2629489.

15. McDaniel, M., & Storey, V. C. Evaluating domain ontologies: clarification, classification, and challenges. *ACM Computing Surveys*, 2019, vol. 52, iss. 4, article no. 76. DOI: 10.1145/3329124.

16. Slipchenko, V., Poliahushko, L., & Kravchuk, D. Decision-making models for complex the eco-energy-economic monitoring system. *Computer Systems and Information Technologies*, 2024, vol. 4, pp. 107–115. DOI: 10.31891/csit-2024-4-13.

Отримано 31.12.2025, отримано у доопрацьованому вигляді 02.01.2026

Дата ухвалення 15.01.2026, дата публікації 22.01.2026

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF USING AN ONTOLOGY-BASED DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SELECTING AIRCRAFT-TYPE UNMANNED AERIAL VEHICLES

Iurii Vorobiov, Kateryna Maiorova, Andriy Sosunov

The subject of this study is the process of the formalized selection of fixed-wing unmanned aerial vehicles (UAVs) for specific missions using an ontology-based decision support system (ODSS) and the methods for analyzing

the economic effectiveness of its implementation. The relevance of the research is attributed to the rapid expansion of UAV platform varieties, the heterogeneity of their tactical, technical, and operational characteristics, and the need for prompt, well-grounded decision-making under conditions of incomplete and contradictory information. The aim of the study is to develop a methodology for assessing the economic efficiency of using an ODSS for mission-oriented UAV selection, treating it as an investment project that accounts for life-cycle costs and expected economic benefits. To achieve this aim, the following tasks were addressed: analyzing the current state of ontology-based and multi-criteria approaches to UAV selection; developing a total cost of ownership model for the ODSS; identification of the structure of direct and indirect economic benefits resulting from its application; developing an algorithm for calculating integrated efficiency indicators; and presenting a numerical example demonstrating the practical application of the proposed methodology. The research results consist of a development formalized methodology that integrates domain ontology modeling with discounted economic analysis tools and enables quantitative assessment of the effects of reducing the labor input required for UAV selection and mitigating expected losses caused by erroneous decisions. The conclusions confirm that an ontology-based decision support system can be considered not only as a tool for improving the quality of UAV selection, but also as an economically viable investment. The scientific novelty of the study lies in the formalization of the economic effect of using an ODSS in UAV selection tasks. The practical significance of the results lies in the applicability of the proposed methodology for the techno-economic justification of the implementing ontology-based decision support systems in research organizations, aviation enterprises, and UAVs operators.

Keywords: UAV; ontology; decision support system; economic efficiency; total cost of ownership; NPV; ROI; multi-criteria selection.

Воробйов Юрій Анатолійович – д-р техн. наук, проф., Заслужений працівник освіти України, проф. каф. технології виробництва літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Майорова Катерина Володимирівна – канд. техн. наук, доц., зав. каф. технології виробництва літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Сосунов Андрій Олексійович – асп. каф. технології виробництва літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Iurii Vorobiov – Doctor of Engineering Science, Professor, Honored Worker of Education of Ukraine, Professor at the Department of Aircraft Manufacturing Technology, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine,

e-mail: i.vorobiov@khai.edu, ORCID: 0000-0001-6401-7790, Scopus Author ID: 57205383504.

Kateryna Maiorova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aircraft Manufacturing Technology, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: kate.majorova@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3949-0791, Scopus Author ID: 57204427689.

Andriy Sosunov – PhD Student of the Department of Aircraft Manufacturing Technology, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: a.sosunov@khai.edu.