

О.Є. Мавренков, С.В. Матвійчук

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ВІДНОСНОЇ ВАЖЛИВОСТІ (КОЕФІЦІЄНТІВ ВАГОМОСТІ) ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

Представлено методику та результати формального оцінювання відносної важливості (коефіцієнтів вагомості) тактико-технічних характеристик багатофункціональних безпілотних авіаційних комплексів, яке на відміну від експертного оцінювання дозволяє мінімізувати негативний вплив суб'єктивних факторів. У основу методики покладається математичне моделювання процесу бойового застосування багатофункціонального безпілотного авіаційного комплексу при виконанні ним завдань повітряної розвідки (видової, радіолокаційної і радіотехнічної) та ураження наземних (надводних) цілей. Цільовим призначенням такої математичної моделі є дослідження впливу тактико-технічних характеристик багатофункціональних безпілотних авіаційних комплексів на ефективність їх бойового застосування як складних технічних систем військового призначення. У статті наведено структурну схему зазначеної методики та результати визначення коефіцієнтів вагомості тактико-технічних характеристик багатофункціонального безпілотного авіаційного комплексу.

Ключові слова: коефіцієнт вагомості, тактико-технічні характеристики, математична модель, ефективність бойового застосування, безпілотний авіаційний комплекс, повітряна розвідка, ураження цілей.

Вступ

Постановка проблеми. У дослідженнях, пов'язаних з оцінюванням якості (технічного рівня) зразків озброєння та військової техніки (ОВТ), активно використовуються кваліметричні моделі, формування яких передбачає встановлення відносної важливості тактико-технічних характеристик (ТТХ) з метою оптимізації розмірності таких моделей (за рахунок відсіювання тих ТТХ, що мають незначний вплив на технічний рівень зразка) та розрахунок коефіцієнтів вагомості (КВ) визначальних характеристик. При цьому переважна більшість методичних підходів до визначення відносної важливості та КВ ТТХ засновані на використанні експертних процедур, що несе значний ризик отримання хибних оцінок якості (технічного рівня) зразків ОВТ і, як слідство, може призвести до прийняття помилкових рішень при формуванні закупівельних програм (планів). Тому, дослідження авторів було зосереджено на адаптації формальних процедур відомих аналітичних методів до вирішення задачі оцінювання відносної важливості та розрахунку КВ ТТХ зразків ОВТ, зокрема, багатофункціональних безпілотних авіаційних комплексів (БФ БпАК), роль яких стає незамінною в сучасних умовах ведення бойових дій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ця стаття є результатом подальшого проведення досліджень щодо аналізу відомих аналітичних

методів визначення КВ параметрів (ТТХ) складних технічних систем з метою вибору тих з них, які можна вважати суто формальними, максимально позбавленими негативного впливу суб'єктивного фактору, що притаманний експертним процедурам. Було обґрунтовано, що таким можна вважати метод на основі теорії чутливості, який служить інструментом аналізу, що застосовується для визначення рівня впливу змін вхідних параметрів (характеристик) на вихідний результат математичної (імітаційної) моделі функціонування складної технічної системи [1].

Використання зазначеного методу для оцінювання КВ ТТХ БФ БпАК передбачає наявність дослідницької математичної моделі, яка пов'язує ТТХ БФ БпАК з результатом його функціонування – показником ефективності бойового застосування.

Аналіз наукових праць у галузі математичного моделювання бойових дій авіації, зокрема [2...17], показав, що їх дослідження зосереджуються, як правило, на математичних моделях штабного та ігрового типів, які використовуються для планування повітряних операцій, оцінювання різних сценаріїв застосування авіаційних угруповань та симуляції польотів на авіаційних тренажерах. Такі моделі враховують обмежений перелік тільки основних льотно-тактичних характеристик літальних апаратів, що вкрай обмежує їх використання для дослідження бойових авіаційних комплексів як складних технічних систем.

Відомі дослідницькі математичні моделі, зокрема, [18...21], обмежуються формалізацією окремих етапів виконання бойового завдання в основному розвідувальних або ударних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та не враховують комплексно різноманіття завдань БФ БпАК, характеристик їх бортового та наземного обладнання, авіаційних засобів ураження (АЗУ), що також обмежує їх використання для дослідження впливу таких ТТХ на узагальнений та часові показники ефективності їх бойового застосування.

Мета статті – представлення результатів розроблення аналітичної детермінованої статичної нелінійної математичної моделі бойового застосування БФ БпАК та її використання для визначення впливу ТТХ на показник ефективності бойового застосування з метою оцінювання їх відносної важливості (коефіцієнтів вагомості).

Виклад основного матеріалу

Інтегральний показник ефективності бойового застосування (ЕБЗ) БФ БпАК ($E_{БЗ}$) може бути представлено у вигляді адитивної згортки часткових показників – ймовірностей $P_{БЗ_i}$ виконання i -их бойових завдань ($i \in \overline{1, N}$) за цільовим призначенням БФ БпАК:

$$E_{БЗ} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{БЗ_i}, \quad (1)$$

Математичну модель, яку представлено у даній роботі, призначено для оцінювання ЕБЗ БпАК при виконанні ним бойових завдань з повітряної розвідки та ураження наземних / надводних цілей. У цьому випадку показник (1) представляється у вигляді:

$$E_{БЗ} = \frac{1}{2} (P_{БЗ_{РОЗ}} + P_{БЗ_{УД}}), \quad (2)$$

де $P_{БЗ_{РОЗ}}$, $P_{БЗ_{УД}}$ – ймовірності виконання бойових завдань з повітряної розвідки (спостереження) та ударних (ураження наземних / надводних об'єктів), відповідно.

Представлена математична модель формалізує сценарій застосування БпЛА зі складу БпАК, який враховує такі елементи та етапи виконання бойового завдання:

- своєчасність вильоту;
- безвідмовність роботи систем і обладнання;
- подолання зони дії засобів ППО противника, на маршруті польоту до району розвідки;
- виявлення та розпізнавання (дешифрування) об'єкта розвідки (цілі) за допомогою бортових засобів повітряної розвідки;
- своєчасність доставки розвідінформації;

– вихід в область можливих атак (ОМА) / зону дозволених пусків (ЗДП);

– застосування АЗУ (керованих або некерованих) по цілі.

Структурно-логічну схему розробленої математичної моделі для оцінювання ЕБЗ БпАК представлено на рис. 1.

Ймовірність виконання бойового завдання з повітряної розвідки ($P_{БЗ_{РОЗ}}$) може бути подано в такому вигляді:

$$P_{БЗ_{РОЗ}} = P_{СВ} \times P_{БР} \times P_{ППО} \times P_B \times P_P \times P_{СДИ}, \quad (3)$$

де $P_{СВ}$ – ймовірність своєчасного вильоту; $P_{БР}$ – ймовірність безвідмовної роботи систем і обладнання БпАК; $P_{ППО}$ – ймовірність подолання засобів (комплексів) ППО противника; P_B – ймовірність виявлення об'єкта розвідки; P_P – ймовірність розпізнавання (дешифрування) об'єкта розвідки; $P_{СДИ}$ – ймовірність своєчасної доставки розвідінформації.

Ймовірності своєчасного вильоту ($P_{СВ}$), безвідмовної роботи систем і обладнання БпАК ($P_{БР}$) і своєчасної доставки інформації ($P_{СДИ}$) розраховуються за відомими формулами, наведеними, зокрема у [21, с. 120, 125].

Ймовірність $P_{ППО}$ подолання засобів ППО в процесі виконання бойового завдання БпЛА представляється у вигляді [19, с. 41]:

$$P_{ППО} = P_{ЗРК} \times P_{ЗАУ} \times P_{АКП} \times P_{РЕП}, \quad (4)$$

де $P_{ЗРК}$, $P_{ЗАУ}$, $P_{ЛВ}$, $P_{РЕП}$ – ймовірності подолання зон ураження засобів ППО противника – зенітно-ракетних комплексів (ЗРК), зенітних артилерійських (кулеметних) установок (ЗАУ), авіаційних комплексів перехоплення (АКП), комплексів радіоелектронної протидії (КРЕП), відповідно.

Ймовірність подолання ЗРК ($P_{ЗРК}$), яких на маршруті польоту БпЛА в загальному випадку може бути у кількості K комплексів, представляється виразом:

$$P_{ЗРК} = \prod_{k=1}^{N_{ЗРК}} P_{ЗРК_k} = \prod_{k=1}^{N_{ЗРК}} (1 - Q_{ЗРК_k}^{(1)})^{N_{P_k}}, \quad k = \overline{1, K}, \quad (5)$$

де $N_{ЗРК}$ – кількість ЗРК, які можуть обстріляти БпЛА; $P_{ЗРК_k}$ – ймовірність подолання k -го ЗРК; $Q_{ЗРК_k}^{(1)}$ – ймовірність ураження (збиття) БпЛА однією ракетою k -го ЗРК; N_{P_k} – кількість ракет, випущених k -им ЗРК по БпЛА.

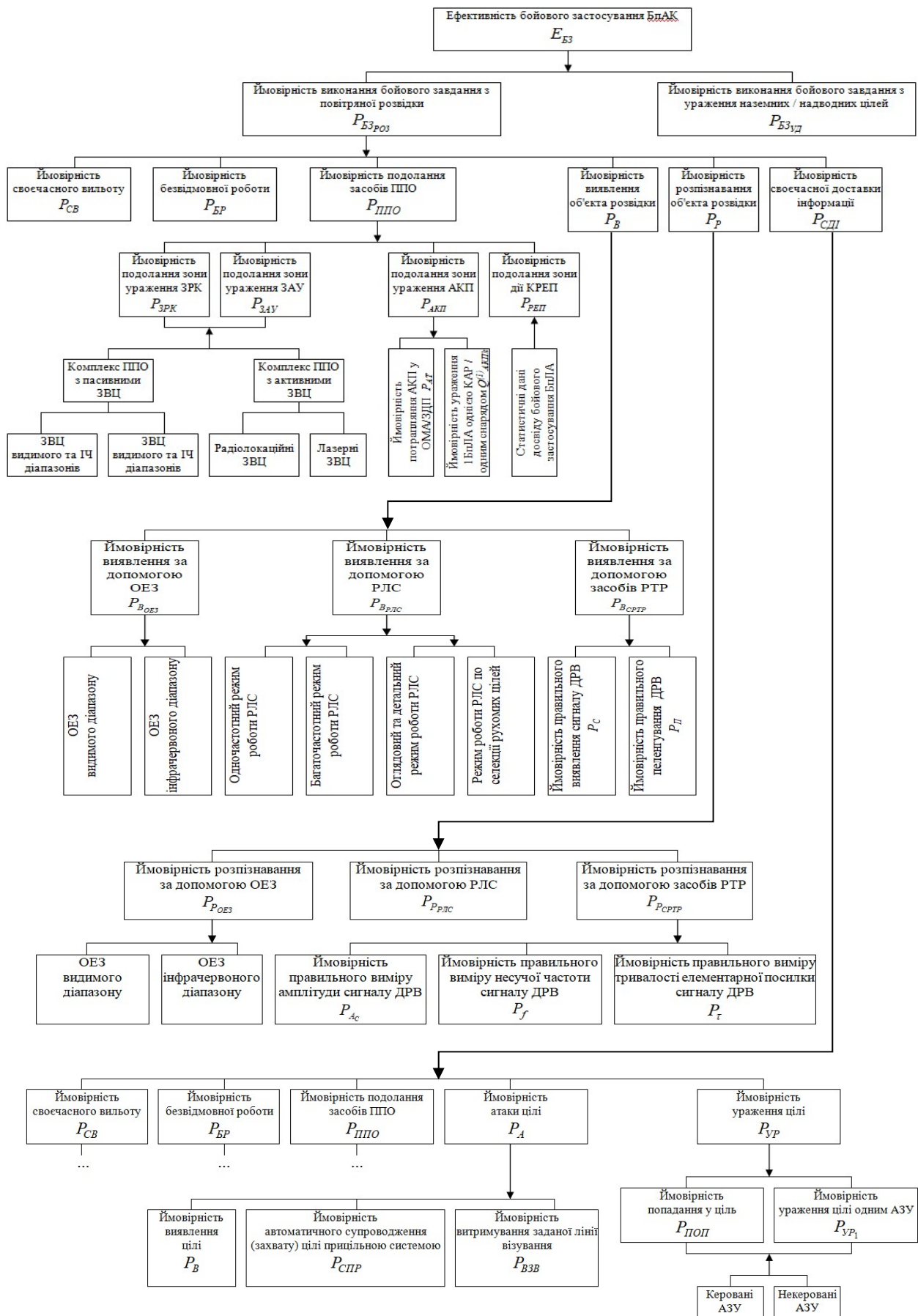


Рис. 1. Структурно-логічна схема математичної моделі для оцінювання ефективності бойового застосування БпАК

Джерело: розроблено авторами

Формула (5) справедлива за умови, що ймовірність ураження (збиття) БпЛА однією ракетою k -го ЗРК є однаковою для кожної ракети, випущеної по БпЛА k -им ЗРК.

Ймовірність ураження (збиття) БпЛА однією ракетою k -го ЗРК ($Q_{ЗРК_k}^{(1)}$) може бути визначено як величину обернено пропорційну середній кількості ракет $\bar{n}_p$, влучання яких у БпЛА гарантовано виводить його з ладу (збиває):

$$Q_{ЗРК_k}^{(1)} = \frac{1}{\bar{n}_p v_{зр}}, \quad (6)$$

де $v_{зр}$ – коефіцієнт стійкості БпЛА до вогневого ураження від зенітних ракет (ЗР) (параметр, що визначається експертами по 10-бальній шкалі від 0,1 (низька стійкість) до 1,0 (висока стійкість) та характеризує ступінь стійкості конструкції БпЛА до влучання уражаючих елементів ЗР).

Кількість ракет, випущених k -им ЗРК по БпЛА N_{P_k} розраховується за формулою:

$$N_{P_k} = \kappa_k N_{ЦК_k}, \quad (7)$$

де $N_{ЦК_k}$ – кількість цільових каналів k -го ЗРК;

K_k – кількість циклів стрільби k -го ЗРК:

$$\kappa_k = \frac{t_{П_k}}{t_{ЦК_k}}, \quad (8)$$

де $t_{П_k}$ – час знаходження БпЛА в зоні ураження k -го ЗРК (час прольоту зони ураження k -го ЗРК); $t_{ЦК_k}$ – час циклу стрільби (реакції) k -го ЗРК.

За сценарієм моделювання вибирається максимально можливий час $t_{П_k}$ прольоту зони ураження k -го ЗРК, який розраховується за формулою:

$$t_{П_k} = \frac{D_{Д_k}^l - D_{Б_k}}{V_{П_{\max}}} k_{УЧ_k}, \quad (9)$$

де $D_{Д_k}^l$ – дальність до дальньої межі зони ураження k -го ЗРК з використанням l -го засобу виявлення; $D_{Б_k}$ – дальність до ближньої межі зони ураження k -го ЗРК (мінімальна дальність пуску ракети); $V_{П_{\max}}$ – максимальна швидкість польоту БпЛА; $k_{УЧ_k}$ – коефіцієнт участі зони ураження k -го ЗРК ($k_{УЧ_k} = 1,4$ – якщо зона ураження кругова; $k_{УЧ_k} = 0,7$ – в інших випадках).

Через розрахунок максимального радіусу (дальності) дії ЗРК у математичній моделі враховуються показники помітності БпЛА, а саме: площа БпЛА (S_e) – як показник візуальної помітності; ефективна площа розсіювання БпЛА

(S_e) – як показник радіолокаційної помітності; температура БпЛА (вихідних газів силової установки) (T) – як показник теплової помітності [21, с. 121, 122].

Ймовірність подолання ЗАУ ($P_{ЗАУ}$)

розраховується аналогічно ймовірності подолання ЗРК ($P_{ЗРК}$) з урахуванням того, що замість ракет по БпЛА застосовуються снаряди (кулі).

При цьому в формулі (6) використовуються коефіцієнти стійкості БпЛА до вогневого ураження від снарядів – v_c або куль – v_k , параметри, що визначаються аналогічно $v_{зр}$.

В математичній моделі умовою обчислень показників $P_{ЗРК}$ і $P_{ЗАУ}$ є попадання БпЛА в зону ураження за висотою та дальністю його польоту:

$$H_{k_{\min}} \leq H_{П} \leq H_{k_{\max}},$$

$$\sqrt{D_{Б_k}^2 - H_{П}^2} \leq L_{П} \leq \sqrt{D_{Д_k}^2 - H_{П}^2}, \quad (10)$$

де $H_{k_{\min}}$, $H_{k_{\max}}$ – мінімальна та максимальна висота зони ураження k -го ЗРК; $H_{П}$ – висота польоту БпЛА;

$L_{П}$ – довжина шляху, що проходить БпЛА в зоні ураження k -го ЗРК.

При цьому приймається умова, що висота польоту БпЛА в зоні дії комплексів ППО не змінюється ($H_{П} = const$).

Ймовірність подолання АКП ($P_{АКП}$), за умови

однакових значень ймовірності $Q_{АКП}$ ураження (збиття) БпЛА одним АКП для кожного з атакуючих АКП, може бути представлена виразом:

$$P_{АКП} = (1 - Q_{АКП})^V, \quad (11)$$

де V – кількість АКП, які атакують БпЛА:

$$V = N_{АКПВ} P_{АТ}, \quad (12)$$

де $N_{АКП}$ – початкова кількість АКП, спрямованих на перехоплення БпЛА; $P_{АТ}$ – ймовірність потрапляння АКП у ОМА (ЗДП), в якій гарантовано відбувається захоплення цілі та застосування зброї.

Ймовірності $Q_{АКП}$ ураження (збиття) БпЛА одним АКП за умови однакових значень ймовірності $Q_{АКП}^{(1)}$ ураження (збиття) БпЛА однією ракетою (пострілом):

$$Q_{АКП} = 1 - (1 - Q_{АКП}^{(1)} v_{акр})^{N_{P_v}}, \quad (13)$$

де N_{P_k} – кількість ракет (пострілів), випущених АКП по БпЛА; $v_{акр}$ – коефіцієнт стійкості БпЛА до вогневого ураження від авіаційних керованих

ракет (АКР) класу “повітря – повітря” (параметр, що визначається аналогічно $v_{зр}$).

При застосуванні АКП авіаційної гарматної або кулеметної установки замість коефіцієнта $v_{акр}$ використовуються коефіцієнти v_c або v_k , відповідно.

Ймовірність потрапляння АКП у ОМА (P_{AT}) за умови, якщо ціль (БпЛА) не маневрує, визначається як [22, с. 12]:

$$P_{AT} = 2\Phi_o \left(\frac{\Delta\phi_{нав}^*}{\sigma_{\Delta\phi}} \right), \quad (14)$$

де Φ_o – нормована функція Лапласа;

$\Delta\phi_{нав}^*$ – граничне (критичне) значення похибки наведення (кута відхилення від потрібного курсу);

$\sigma_{\Delta\phi}$ – середнє квадратичне відхилення (СКВ) похибки наведення за курсом.

Критичне значення похибки наведення ($\Delta\phi_{нав}^*$) при використанні АКП керованих ракет класу “повітря – повітря” представляється функціональною залежністю у вигляді:

$$\Delta\phi_{нав}^* = f(d_g, V_{вц(рц)}, V_p, n_p, d_{pmax}, \bar{\tau}_{роз}, \bar{\tau}_z, \bar{\tau}_{np}, \phi_{в(р)}, \phi_{ц}), \quad (15)$$

де d_g – дальність виявлення цілі бортовим засобом виявлення цілей; $V_{вц(рц)}$ – відносна швидкість польоту “АКП – БпЛА” (“ракета – БпЛА”); V_p – максимальна швидкість польоту ракети на траєкторії; n_p – максимальне перевантаження ракети на траєкторії польоту; d_{pmax} – максимальна дальність пуску ракети; $\bar{\tau}_{роз}$ – середній час розпізнавання цілі; $\bar{\tau}_z$ – середній час захвату цілі; $\bar{\tau}_{np}$ – середній час прицілювання; $\phi_{в(р)}$, $\phi_{ц}$ – курсовий кут АКП (ракети), БпЛА, відповідно.

Алгоритм розрахунку $\Delta\phi_{нав}^*$ наведено в [22, с. 12...13].

В математичній моделі підключення модулів подолання певних засобів ППО відбувається з урахуванням класу БпЛА, застосування яких моделюється. Так, при оцінюванні БпЛА I класу (“мікро”, “міні”, “малі”) в математичній моделі існує можливість блокування модулів, що імітують подолання ЗРК і АКП (літаків-винищувачів) як таких, що не використовуються (є малоефективними) у боротьбі з зазначеним класом БпЛА.

Ймовірність подолання КРЕП ($P_{РЕП}$) пропонується визначати за допомогою статистичних розрахунків – як відношення кількості втрат БпЛА через дію засобів радіоелектронного подавлення ($N_{РЕП}$) противника до загальної кількості БпЛА, які були задіяні для виконання бойових завдань (N_{Σ}) за певний період часу:

$$P_{РЕП} = 1 - \frac{N_{РЕП}}{N_{\Sigma}}. \quad (16)$$

Ймовірність виявлення об’єкта розвідки (P_B) з урахуванням можливої наявності на борту БпЛА кількох засобів розвідки може бути представлено у такому загальному вигляді:

$$P_B = 1 - \prod_{m=1}^M (1 - P_{B_m}), \quad m = \overline{1, M}, \quad (17)$$

де M – кількість засобів розвідки у складі цільового спорядження БпЛА; P_{B_m} – ймовірність виявлення об’єкта розвідки за допомогою m -го бортового засобу розвідки БпЛА.

У математичній моделі, як m -ті бортові засоби розвідки БпЛА розглядаються: оптико-електронні (видимого та інфрачервоного діапазонів), радіолокаційні та радіотехнічні.

Ймовірність виявлення об’єкта розвідки за допомогою оптико-електронного засобу (ОЕЗ) розвідки БпЛА (P_{BOEZ}) характеризує можливість встановлення енергетичного контакту з об’єктом пошуку (розвідки). У припущенні, що такий процес носить пуассонівський характер (потік контактів – стаціонарний, не має післядії, ординарний), показник P_{BOEZ} розраховується за формулою [23, с. 52]:

$$P_{BOEZ} = 1 - \exp \left[-K \frac{D_{B_m} \Omega_m}{(V_{POEZ} + V_0) t_{POEZ}} \right], \quad (18)$$

де $K = \frac{\pi}{2 \times 360^0} \approx 0,00436$ – розрахунковий коефіцієнт; D_{BOEZ} – середня дальність виявлення об’єкта розвідки ОЕЗ розвідки БпЛА; Ω_{OEZ} – сектор спостереження (кут огляду) ОЕЗ розвідки БпЛА; V_{POEZ} – швидкість польоту БпЛА при веденні розвідки ОЕЗ; V_0 – швидкість руху об’єкта розвідки (для нерухомих об’єктів $V_0 = 0$); t_{POEZ} – час обстеження сектора Ω .

Ймовірність виявлення об’єкта розвідки за допомогою радіолокаційної станції (РЛС) з синтезованою апертурою ($P_{BRЛC}$) розраховується за формулами [24, с. 71]:

1) для *одночастотних режимів* роботи РЛС (оглядового, детального, селекції рухомих цілей згідно з виразом:

$$P_{B_{PLC}} = \Phi(x), \quad (19)$$

де $\Phi(x)$ – інтеграл ймовірності (нормована функція Лапласа); x – параметр виявлення;

2) для *багаточастотного режиму* роботи РЛС відповідно до виразу:

$$P_{B_{PLC}} = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - P_{B_{PLC_i}}), \quad (20)$$

де $P_{B_{PLC_i}}$ – ймовірність виявлення об'єкта при використанні зондуючих хвиль з i -ю довжиною хвилі ($i = 1, 2, \dots, k$).

Порядок розрахунку $P_{B_{PLC_i}}$ аналогічний розрахунку для одночастотних режимів роботи РЛС.

Параметр виявлення x представляється функціональною залежністю у вигляді:

$$x = f(\sigma_{O(\Phi)}, T_L, \lambda'_{PLC}, H_L, \Psi, V_{P_{PLC}}, V_0, \theta_0, \theta_n, \theta_{\partial\phi}, \theta_{\partial ad}, \sigma_{nop}, J, d, \gamma_D, \gamma_T, \gamma_A, l_x, l_z, \Delta l), \quad (21)$$

де $\sigma_{O(\Phi)}$ – ефективна площа розсіювання об'єкта розвідки (фону); T_L – параметр, що характеризує маскуючі властивості рослинності (лісу, трави, кущів тощо); λ'_{PLC} – робоча довжина хвилі РЛС; H_L – середня висота рослинності (дерев, чагарнику тощо); Ψ – кут візування об'єкта з точки розташування БпЛА; $V_{P_{PLC}}$ – швидкість руху БпЛА при веденні радіолокаційної розвідки; V_0 – швидкість руху об'єкта розвідки; θ_0 – ширина діаграми направленості антени РЛС; θ_n – середнє значення кута орієнтації діаграми направленості антени РЛС щодо напрямку руху БпЛА; $\theta_{\partial\phi}$ – кут між вектором швидкості руху об'єкта розвідки і вектором її радіальної складової; $\theta_{\partial ad}$ – кут між вектором швидкості руху БпЛА і вектором швидкості руху об'єкта розвідки; σ_{nop} – порогова чутливість, приймається рівною $0,1 \text{ м}^2$; J – коефіцієнт некогерентного накопичення (приймається рівним 8 для РЛС сантиметрового діапазону); d – коефіцієнт, що враховує відносний рівень флуктуацій радіолокаційного зображення і лежить у межах від 0,7 (для об'єктів і фонів з переважанням дифузного характеру розсіювання сигналу) до 1,5 (для об'єктів і фонів зі складним рельєфом, що створює велику кількість точок дзеркального відображення); $\gamma_D, \gamma_T, \gamma_A$ – коефіцієнти згасання сигналу в дощі, в атмосферному аерозолі (тумані) та в поглинаючому

шарі атмосфери, відповідно; l_x, l_z – розмір об'єкта розвідки (цілі) по осям x і z , відповідно; Δl – лінійна роздільна здатність РЛС.

Алгоритм розрахунку параметра виявлення x наведено в [24, с. 71...73].

Об'єкт радіотехнічної розвідки (РТР) вважається виявленим, якщо виявлено радіосигнал джерела радіовипромінювань (ДРВ) та його пеленг (кут на пряму на ДРВ), тому ймовірність виявлення об'єкта розвідки за допомогою станції радіотехнічної розвідки (СРТР) БпЛА ($P_{B_{СРТР}}$) визначається за формулою:

$$P_{B_{СРТР}} = P_C \times P_{\Pi}, \quad (22)$$

де P_C – ймовірність правильного виявлення сигналу від ДРВ; P_{Π} – ймовірність правильного пеленгування ДРВ.

Алгоритм розрахунку параметра виявлення x наведено в [25, с. 33, 34].

Ймовірність розпізнавання (дешифрування) об'єкта розвідки визначається окремо для кожного m -го бортового засобу розвідки БпЛА, тому з урахуванням можливої наявності на борту БпЛА кількох засобів розвідки його може бути представлено у такому загальному вигляді:

$$P_P = 1 - \prod_{m=1}^M (1 - P_{P_m}), \quad m = \overline{1, M}, \quad (23)$$

де P_{P_m} – ймовірність розпізнавання об'єкта розвідки за допомогою m -го бортового засобу розвідки БпЛА.

Для розрахунку ймовірності $P_{P_{ОЕЗ}}$ розпізнавання об'єкта розвідки за допомогою оптико-електронних засобів видимого та інфрачервоного діапазонів довжин хвиль було використано формулу Живичина [26, с. 56], яку було модифіковано в двох варіантах для врахування розгорнутого переліку ТТХ цільового розвідувального обладнання БпЛА:

$$P_P = \exp \left[\frac{\ln \alpha}{\lg \frac{1+K_O}{1-K_O}} \left(\frac{\sqrt{\frac{S_m}{N_p}} \times \frac{H_P}{f_o}}{d_0} \right)^2 \right],$$

$$P_P = \exp \left[\frac{\ln \alpha}{\lg \frac{1+K_O}{1-K_O}} \left(\frac{\sqrt{\frac{S_m}{N_p}} \times \frac{2H_P \times \text{tg} \frac{\Phi}{2}}{a_m}}{d_0} \right)^2 \right], \quad (24)$$

де α – заданий рівень достовірності (зазвичай 0,8...0,95); K_O – радіометричний контраст об'єкта

розвідки (коефіцієнт контрасту); S_m – площа матриці; N_p – кількість пікселів; H_p – висота знімання (ведення розвідки); f_o – фокусна відстань об'єктива ЦК; ϕ_o – кут поля зору об'єктива ЦК; a_m – розмір сторони матриці.

Відмінність у використанні зазначених формул для оцінювання ОЕЗ видимого діапазону та ОЕЗ інфрачервоного діапазону полягає у способі розрахунку коефіцієнта контрасту, значення якого показує, як виділяється об'єкт на фоні підстилаючої поверхні [21, с. 123...124]:

– для ОЕЗ видимого діапазону: $K = 1$ – для чорного об'єкту на білому фоні; $K = 0$ – для білого об'єкту на білому фоні; $K = 0,2$ – зазвичай для камуфльованих об'єктів;

– для ОЕЗ інфрачервоного діапазону: радіометричний контраст в інфрачервоній спектрометричній знімальній апаратурі при зніманні вночі визначається спектральною щільністю енергетичної яскравості $M_{O(\Phi)}(\lambda, T)$ власного теплового випромінювання об'єкта (O) і фона (Φ) відповідно до закону Планка.

Ймовірність $P_{P_{RLC}}$ розпізнавання об'єктів радіолокаційними засобами розвідки розраховується за формулою [24, с. 73]:

$$P_{P_{RLC}} = \exp\{-0,64 \cdot Z_\phi\}, \quad (25)$$

де Z_ϕ – параметр розпізнавання об'єкта розвідки, який визначається відповідно до виразу:

$$Z_\phi = \frac{(l_x + l_z) \cdot \left(\sqrt{l_x^2 + l_z^2} + l_z \right) \cdot \Delta l^2}{2 \cdot l_x \cdot l_z \cdot (l_x^2 + l_z^2)}, \quad (26)$$

Розпізнавання об'єктів радіотехнічними засобами розвідки полягає у визначенні амплітуди, несучої частоти та тривалості сигналу ДРВ [25, с. 33]. Тоді ймовірність $P_{P_{CPTP}}$ розпізнавання об'єктів радіотехнічними засобами розвідки аналітично можна представити у вигляді:

$$P_{P_{CPTP}} = P_A \times P_f \times P_\tau, \quad (27)$$

де P_A , P_f , P_τ – ймовірності правильного виміру амплітуди, несучої частоти, та тривалості елементарної послідовності сигналу ДРВ, відповідно.

Порядок розрахунку складових формули (27) наведено в [25, с. 34...35].

Ймовірність виконання бойового завдання з ураження наземних / надводних цілей (P_{B3YP}) може бути розрахована по формулі:

$$P_{B3YP} = P_{CB} \times P_{BR} \times P_{ППО} \times P_A \times P_{YP}, \quad (28)$$

де P_{CB} – ймовірність своєчасного вильоту; P_{BR} – ймовірність безвідмовної роботи систем і

обладнання БпАК; $P_{ППО}$ – ймовірність подолання засобів (комплексів) ППО противника; P_A – ймовірність атаки цілі; P_{YP} – ймовірність ураження цілі.

Порядок розрахунку ймовірностей P_{CB} , P_{BR} , $P_{ППО}$ було розглянуто вище.

Ймовірність атаки цілі (P_A) визначає можливість БпЛА щодо виходу в ОМА, тобто виведення його в таке положення, з якого можливо здійснити прицілювання (видачу цілевказання) та застосувати зброю по цілі з першого заходу, та розраховується як:

$$P_A = P_{BЦ} \times P_{СПР} \times P_{B3B}, \quad (29)$$

де $P_{BЦ}$ – ймовірність виявлення цілі; $P_{СПР}$ – ймовірність виведення БпЛА в зону автоматичного супроводження цілі оптико-електронним, радіолокаційним або іншим каналом прицілювальної системи (ПС); P_{B3B} – ймовірність витримування заданої лінії візування цілі та видачі сигналів цілевказання головці самонаведення (ГСН) авіаційних засобів ураження (АЗУ) за допомогою певного каналу ПС в діапазоні кутів $\pm 5^\circ$ в горизонтальній та у вертикальній площинах.

Порядок розрахунку ймовірності $P_{BЦ}$ аналогічний розрахунку ймовірності виявлення об'єкта розвідки (P_B).

Ймовірність $P_{СПР}$ визначається як [27, с. 16]:

$$P_{СПР} = \Phi\left(\frac{D_{ПСТ} \Theta_{ПС_x}}{\sigma_{НС_x}}\right) + \Phi\left(\frac{D_{ПСТ} \Theta_{ПС_z}}{\sigma_{НС_z}}\right), \quad (30)$$

де Φ – функція Лапласа; $D_{ПСТ}$ – дальність дії каналу ПС, м; $\Theta_{ПС_x}$, $\Theta_{ПС_z}$ – діапазон кутів, відповідно, у двох площинах при автоматичному супроводженні цілі певним каналом ПС при еволюціях БпЛА, град.; $\sigma_{НС_x}$, $\sigma_{НС_z}$ – точність (СКВ) навігації БпЛА, відповідно, у двох площинах польоту при автономній навігації, м.

Ймовірність P_{B3B} визначається як [27, с. 16]:

$$P_{B3B} = \Phi\left(\frac{D_{П_{\min}} \Theta_{ГСН_x}}{\sigma_D}\right) + \Phi\left(\frac{D_{П_{\min}} \Theta_{ГСН_z}}{\sigma_D}\right), \quad (31)$$

де Φ – функція Лапласа; $D_{П_{\min}}$ – мінімальна дальність пуску (скидання) АЗУ, м; $\Theta_{ГСН_x}$, $\Theta_{ГСН_z}$ – діапазон кутів, відповідно, у двох площинах при витримуванні лінії візування цілі та видачі сигналів цілевказання ГСН АЗУ за допомогою певного каналу ПС, град.; σ_D – точність (СКВ) визначення дальності до цілі за допомогою ПС, м.

Ймовірність ураження цілі (P_{YP}) за умови, що ймовірність ураження цілі одним АЗУ (P_{YP1}) однакова для всіх m незалежних пострілів АЗУ, випущених по цілі, може бути розрахована по формулі [28, с. 221]:

$$P_{YP} = 1 - (1 - P_{ПОП} P_{YP1})^m, \quad (32)$$

де $P_{ПОП}$ – ймовірність попадання АЗУ в ціль.

За досвідом бойового застосування ударних БпАК їх основними об'єктами ураження є одиночні, у тому числі, малорозмірні та рухомі цілі, зокрема, автомобільна, залізнична та броньована техніка (танки, самохідні артилерійські установки, бойові машини піхоти та ін.), артилерійські та ракетні установки на вогневих позиціях, пункти управління (мобільні та стаціонарні), радіолокаційні станції, вогневі точки опорних пунктів, мости, переправи, малі / малотоннажні судна (човни, катери, кораблі) тощо.

Зазначені типи цілей у теорії бойової ефективності зручно апроксимувати такими геометричними фігурами, як прямокутник або круг.

У припущенні про нормальний двовірний закон розсіювання, якщо центр цілі співпадає з центром розсіювання АЗУ, а систематичні похибки відсутні ($\bar{x} = \bar{z} = 0$), то ймовірність попадання АЗУ в ціль, яка являє собою прямокутник зі сторонами, паралельними головним осям розсіювання ($E_x \neq E_z$) [25, с. 37]:

$$P_{ПОП} = \hat{\Phi}\left(\frac{l_x/2}{E_x}\right) \times \hat{\Phi}\left(\frac{l_z/2}{E_z}\right), \quad (33)$$

де $\hat{\Phi}$ – приведена функція Лапласа; l_x , l_z – розмір цілі по осям x і z , відповідно; E_x , E_z – головні ймовірні відхилення АЗУ по вісі x і z , відповідно.

Для малорозмірної цілі (сторони прямокутника менше половини одного ймовірного відхилення вздовж відповідних осей), центр якої співпадає з центром розсіювання АЗУ, а систематичні похибки відсутні ($\bar{x} = \bar{z} = 0$):

$$P_{ПОП} \approx \frac{\rho^2 S_0}{\pi E_x E_z}, \quad (34)$$

У припущенні про нормальний круговий закон розсіювання, ймовірність попадання АЗУ в ціль, яка являє собою круг радіусу $R_{Ц}$, розсіювання АЗУ – кругове ($E_x = E_z = E_{к\text{ів}}$), центр цілі співпадає з центром розсіювання АЗУ (систематичні похибки відсутні) [27, с. 37]:

$$P_{ПОП} = 1 - \exp\left[-\left(\rho \frac{R_{Ц}}{E_{к\text{ів}}}\right)^2\right], \quad (35)$$

де $\rho = 0,477$ – коефіцієнт, що характеризує співвідношення між круговим ймовірним

відхиленням (E) та середнім квадратичним відхиленням (σ).

Ймовірність P_{YP1} ураження цілі одним АЗУ визначається як величина обернено пропорційна середньому числу влучань АЗУ (ω), необхідного для ураження цілі за певним типом (А, В або С), або як відношення площі S_{0YP} уразливих елементів цілі, влучання в які гарантовано виводить ціль з ладу, до загальної площі цілі S_0 [25, с. 39]:

$$P_{YP1} = \frac{1}{\omega} = \frac{S_{0YP}}{S_0}, \quad (36)$$

Представлену математичну модель для оцінювання ефективності бойового застосування БФ БпАК реалізовано у середовищі табличного редактору Excel програмного пакету Microsoft Office.

Описана вище математична модель є складовою методики оцінювання відносної важливості (коефіцієнтів вагомості) ТТХ БФ БпАК, структурну схему якої представлено на рис. 2.

Початковим етапом зазначеної методики є формування масиву вхідних даних математичної моделі, що включає опис сценарію застосування БФ БпАК, визначення значень його ТТХ, характеристик тактичної обстановки, засобів ППО противника та цілі (об'єкта розвідки).

На наступному етапі встановлюються мінімальне та максимальне значення кожної ТТХ БФ БпАК, які будуть визначати діапазони їх варіювання при побудові графічних залежностей ефективності бойового застосування БФ БпАК від його ТТХ. Ці значення отримуються на основі аналізу характеристик сучасних і перспективних зразків-аналогів БФ БпАК.

Моделювання процесу бойового застосування БФ БпАК передбачає отримання результатів розрахунку показника ЕБЗ при зміні значень ТТХ.

За результатами математичного моделювання відбувається побудова графічних залежностей ЕБЗ БФ БпАК від кожної окремої ТТХ при їх варіюванні від мінімального до максимального значень, що дає можливість визначення внеску δ_j кожної j -ої ТТХ БФ БпАК у показник ефективності його застосування за формулою:

$$\delta_j = \frac{\Delta_j}{b_0} = \frac{|E(X_{j\text{max}}) - E(X_{j\text{min}})|}{E(X_{j\text{cp}})}, \quad (37)$$

де $E(X_{j\text{max}})$, $E(X_{j\text{min}})$, $E(X_{j\text{cp}})$ – значення функції показника ЕБЗ БФ БпАК відповідно для максимального ($X_{j\text{max}}$), мінімального ($X_{j\text{min}}$) та середнього ($X_{j\text{cp}}$) значень j -ої ТТХ.

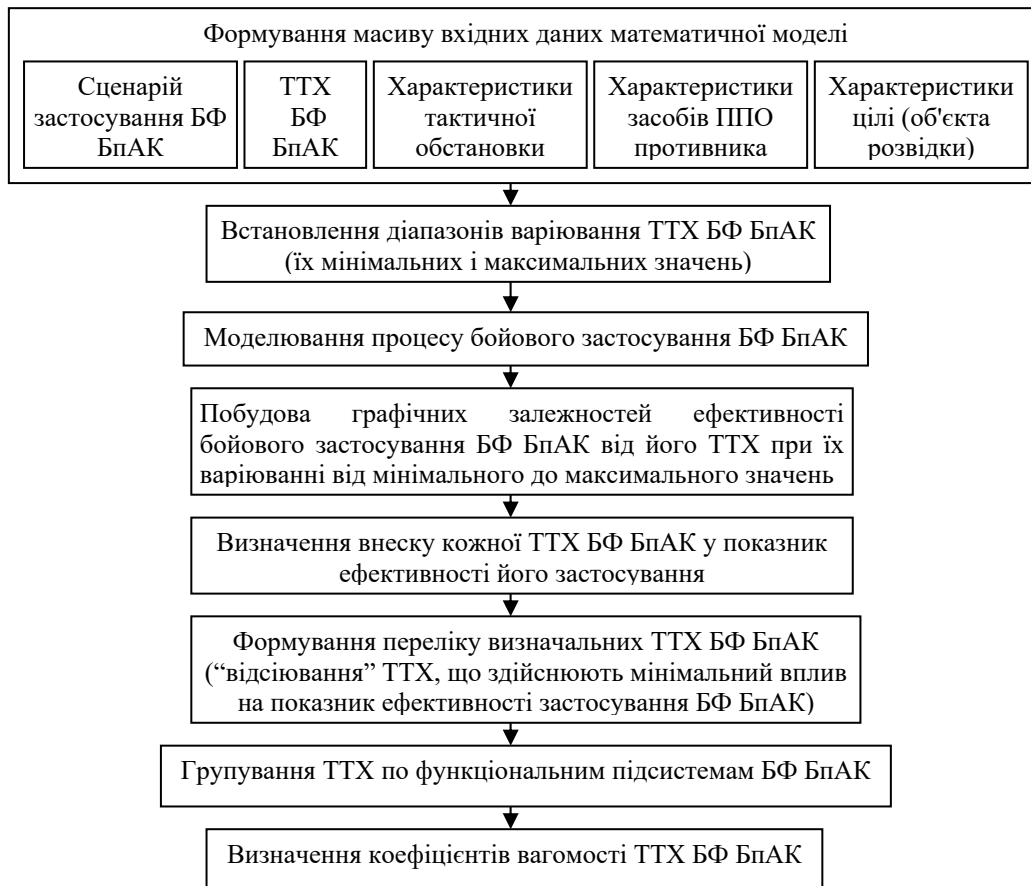


Рис.2. Структурна схема методики оцінювання відносної важливості (коефіцієнтів вагомості) ТТХ БФ БпАК
Джерело: розроблено авторами

Ранжування ТТХ за зменшенням їх внеску δ_j дозволяє "відсіяти" ті з них, які здійснюють мінімальний вплив на показник ефективності застосування БФ БпАК (для яких $\delta_j \leq 0,1$) та сформувати перелік визначальних характеристик, що можуть бути включені до кваліметричної моделі оцінювання військово-технічного рівня БФ БпАК.

Отримані таким чином визначальні ТТХ групуються по функціональним підсистемам БФ БпАК: цільового спорядження (оптико-електронних, радіолокаційних і радіотехнічних засобів розвідки); ударна; захищеності; льотно-технічних характеристик; керування та контролю.

На заключному етапі методики визначаються коефіцієнти вагомості ТТХ БФ БпАК шляхом нормування до одиниці значень їх внесків по кожній функціональній підсистемі БпАК. Сума коефіцієнтів вагомості ТТХ однієї функціональної підсистеми повинна дорівнювати одиниці.

У процесі математичного моделювання бойового застосування БФ БпАК розглядався наступний сценарій його застосування: бойове завдання полягає у розвідці системи оборони дивізії противника, що утримує оборону на лінії бойового

зіткнення шириною 30 км та глибиною 15 км, з оглядом флангів, виявлення, розпізнавання та ураження артилерійських засобів, бронетехніки та ДРВ. Умови виконання бойового завдання: застосовується один БпЛА з можливим використанням ОЕЗ, РЛС, СРТР, керованих ракет класу "повітря – поверхня"; погодні умови – прості метеоумови, день, безхмарне небо; на маршруті польоту до району розвідки БпЛА обстрілюється зенітним ракетно-гарматним комплексом "Панцирь-С1" з використанням зенітних ракет та гарматного озброєння; курсовий параметр БпЛА стосовно комплексу ППО дорівнює нулю; типовою ціллю для БпЛА є танк типу Т-72 на вогневій позиції з вимкненим двигуном.

При цьому дослідження показали, що зміна умов застосування БФ БпЛА (погодні умови, засоби ППО противника, типи цілей) здійснюють незначний вплив на результати розрахунку внесків ТТХ – розкид їх значень відносно результатів, отриманих за представленим вище сценарієм, не перевищує 5 %.

У табл. 1 представлено результати оцінювання коефіцієнтів вагомості ТТХ БФ БпАК, які згруповано за його функціональними підсистемами.

Таблиця 1

Результати оцінювання коефіцієнтів вагомості ТТХ БФ БпАК

№ пп	Найменування функціональних підсистем і ТТХ	Коефіцієнти вагомості
1.	Функціональні підсистеми цільового спорядження	
1.1	Функціональна підсистема розвідувального обладнання (оптико-електронні засоби)	
1.1.1	Кут огляду оптико-електронної системи	0,28
1.1.2	Площа матриці фотоприймача цифрової камери	0,08
1.1.3	Кількість пікселів фотоприймача цифрової камери	0,20
1.1.4	Фокусна відстань об'єктива цифрової камери	0,28
1.1.5	Кут поля зору об'єктива цифрової камери	0,16
1.2	Функціональна підсистема розвідувального обладнання (радіолокаційні засоби)	
1.2.1	Лінійна роздільна здатність РЛС БПЛА	0,32
1.2.2	Ширина діаграми направленості антени РЛС	0,38
1.2.3	Робоча довжина хвилі РЛС БПЛА	0,19
1.2.4	Робоча частота РЛС БПЛА	0,11
1.3	Функціональна підсистема розвідувального обладнання (засоби радіотехнічної розвідки)	
1.3.1	Спектральна щільність шуму сигналу ДРВ	0,11
1.3.2	Ймовірність хибної тривоги (хибного виявлення сигналу ДРВ)	0,31
1.3.3	Число елементів решітки приймальної антени	0,09
1.3.4	Діапазон вимірюваних частот ДРВ	0,28
1.3.5	СКВ оцінки частоти від ДРВ	0,21
1.4	Функціональна підсистема ударна	
1.4.1	Максимальна дальність виявлення типової цілі	0,23
1.4.2	Кут огляду ПС по вертикалі	0,09
1.4.3	Точність (СКВ) навігації БПЛА при автономній навігації	0,13
1.4.4	Точність (СКВ) визначення дальності до цілі за допомогою ПС	0,15
1.4.5	Максимальна дальність пуску (скидання) АЗУ	0,17
1.4.6	Кругове ймовірне відхилення (головне ймовірне відхилення по вісі x або z)	0,23
2.	Функціональна підсистема захищеності БпЛА	
2.1	Візуальна помітність (площа поверхні БпЛА)	0,17
2.2	Радіолокаційна помітність (ефективна площа розсіювання БПЛА)	0,27
2.3	Теплова / інфрачервона помітність (температура БпЛА)	0,20
2.4	Коефіцієнт стійкості до вогневого ураження від зенітних ракет	0,12
2.5	Коефіцієнти стійкості до вогневого ураження від снарядів / куль	0,12
2.6	Коефіцієнт стійкості до вогневого ураження від АКР класу “повітря – повітря”	0,12
3.	Функціональна підсистема льотно-технічних характеристик	
3.1	Час підготовки до вильоту	0,16
3.2	Максимальна швидкість польоту БпЛА	0,23
3.3	Максимальна тривалість польоту БпЛА	0,28
3.4	Наробіток на відмову, яка приводить до зриву виконання бойового завдання	0,14
3.5	Максимальна висота польоту БПЛА	0,19
4.	Функціональна підсистема керування та контролю	
4.1	Час оброблення та аналізу даних, що надходять з БПЛА	0,67
4.2	Час розгортання СКК	0,33

Джерело: розроблено авторами

Висновки

Представлена методика за рахунок формалізації процедур оцінювання відносної важливості (коефіцієнтів вагомості) ТТХ БФ БпАК дозволяє мінімізувати негативний вплив суб'єктивних факторів, притаманний експертним

методам. Результати визначення коефіцієнтів вагомості ТТХ БФ БпАК формальними методами доцільно використовувати при побудові адекватних кваліметричних моделей для оцінювання військово-технічного рівня таких комплексів. Дані моделі можуть бути використані в системі підтримки

прийняття рішень по вибору кращих (раціональних) зразків ОБТ. спрямувати на розроблення зазначених кваліметричних моделей для оцінювання військово-технічного рівня БФ БпАК.

Подальші дослідження планується

Список літератури

1. Мавренков О.Є., Матвійчук С.В. Вибір методу визначення коефіцієнтів вагомості показників технічної досконалості при оцінюванні технічного рівня зразків озброєння та військової техніки // Зб. наук. праць ДНДІА. – К., 2023. Вип. 19 (26). – С.71-79. DOI: 10.54858/dndia.2023-19-10.
2. Woodcock A.E.R., Dockery J.T. The Military Landscape. Mathematical Models of Combat. – Woodhead Publishing, 1993. – p. 582.
3. Washburn A., Kress M. Combat Modeling. – New York: Springer, 2009. – p. 280. DOI:10.1007/978-1-4419-0790-5.
4. Агафонов Ю.М., Звиглянич С.М., Ізюмський М.П. Моделі оцінки дій ударних безпілотних літальних апаратів // Системи озброєння і військова техніка, 2013. – № 1(33). – С. 2-5.
5. Erlandsson T. A combat survivability model for evaluating air mission routes in future decision support systems. – Örebro universitet, 2014. URL. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:689886/FULLTEXT03>.
6. Ernest N., Carroll D., Schumacher C., Clark M., Cohen K., Lee G. Genetic fuzzy based artificial intelligence for unmanned combat aerial vehicle control in simulated air combat missions. – J. Def. Manag., 2016. – vol. 6, no. 1.
7. Johansson T. Tactical simulation in air-to-air combat. – Master's thesis, LTU, Luleå, Sweden, 2018. – p. 52. URL. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1258472/FULLTEXT01.pdf>
8. Costa A.N., Costa P.C.G. Simulation-Based Air Mission Evaluation with Bayesian Threat Assessment for Opposing Forces. – Disciplinary Convergence in Systems Engineering Research. Springer, Cham, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-62217-0_20.
9. Villacís C. et al. Mathematical Models Applied in the Design of a Flight Simulator for Military Training. – Developments and Advances in Defense and Security. MICRADS 2018. Smart Innovation, Systems and Technologies., – Springer, Cham, 2018 – vol 94. DOI: 10.1007/978-3-319-78605-6_4.
10. He B., Zhang X., Li Q. Effectiveness measurement of UAV combat in uncertain environment // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1069 (2018) 012048. DOI: 10.1088/1742-6596/1069/1/012048.
11. Єфремов, О.В., Горбенко, В.М., Коршець, О.А. Методика оцінювання ефективності застосування підрозділів безпілотних авіаційних комплексів. Зб. наук. праць Харківського національного університету Повітряних Сил, 2018. – № 4(58) – С. 30-36. DOI: 10.30748/zhups.2018.58.04.
12. Coulson S. G. Lanchester modelling of intelligence in combat // IMA Journal of Management Mathematics. – 2019. – Т. 30. – №. 2. – С.149-164. DOI:10.1093/imaman/dpx014.
13. Звиглянич С.М., Агафонов Ю.М., Ізюмський М.П., Сафарова Г.М. Імітаційна модель оцінки дій ударних безпілотних літальних апаратів // Системи озброєння і військова техніка, 2019. – № 2(58). – С.7-12. DOI: 10.30748/soivt.2019.58.01.
14. Шалигін А.А., Нерубацький В.О., Смик С.І. Методичний підхід до оцінки бойових потенціалів безпілотних авіаційних комплексів, їх підрозділів і угруповань. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2021. – № 2(43). – С.73-79. DOI: 10.30748/nitps.2021.43.10.
15. Gorton P., Asprusten M., Brathen K. Imitation learning for modelling air combat behaviour. – FFI, Kjeller, Norway, Rep. 22/02423, 2023.
16. Gorton P., Strand A., Brathen K. A survey of air combat behavior modeling using machine learning // arXiv preprint arXiv: 2404.13954. – 2024. Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/2404.13954>.
17. Wang X. et al. Deep reinforcement learning-based air combat maneuver decision-making: literature review, implementation tutorial and future direction. – Artif. Intell. Rev., 2024. – vol. 57, no. 1, Art. no. 1.
18. Мавренков О.Є., Улізько В.І. Математична модель для оцінювання бойової ефективності застосування розвідувальних тактичних безпілотних авіаційних комплексів // Зб. наук. праць ДНДІА. – 2008. – № 4(11). – С. 57-60.
19. Розроблення математичних моделей оцінювання ефективності бойового застосування розвідувальних оперативно-тактичних безпілотних авіаційних комплексів: Звіт про НДР / ДНДІА. – Шифр "Сокіл". – К., 2008. – 127 с.
20. Беспилотные авиационные комплексы: Методика сравнительной оценки боевых возможностей / Митрахович М.М., Силков В.И., Самков А.В. и др.; под ред. В.И. Силкова. – К: ЦНИИ ВВТ ВС Украины. 2012.– 288 с.
21. Кириленко В.А., Артюшин Л.М., Стешенко П.М. Математичний апарат багатокритеріального вибору розвідувальних безпілотних авіаційних комплексів // Зб. наук. праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Сер.: Військові та технічні науки, 2018. – № 1. – С. 115-133. URL. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znprapv_vtn_2018_1_11.
22. Ефанов В.В., Закота А.А., Гунькина А.С. Методика оценки вероятности наведения истребителя в зону разрешенных пусков управляемых ракет в условиях неполного приборного обеспечения // Труды МАИ, 2019. – № 109. – С. 1-34. DOI: 10.34759/trd-2021-118-21.
23. Ребрин. Ю.К. Оптико-электронное разведывательное оборудование летательных аппаратов. – К.: КВВАИУ, 1988. – 452 с.

24. Пантенков Д.Г. Методический подход к интегральной оценке эффективности применения авиационных комплексов с БПЛА. Часть 1. Методики оценки эффективности решения задач радиосвязи и дистанционного мониторинга // Труды учебных заведений связи, 2020. – Т.6, № 2. – С.60-78. DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-2-60-78.

25. Пантенков Д.Г. Методический подход к интегральной оценке эффективности применения авиационных комплексов с БПЛА. Методика оценки эффективности решения задач радиотехнической разведки и авиационного поражения целей // Успехи современной радиоэлектроники, 2021. – Т.75, № 3. – С.32–52. DOI: 10.18127/j20700784-202103-02.

26. Живичин А.Н., Соколов В.С. Дешифрирование фотографических изображений. – М.: Недра, 1980. – 253 с.

27. Леонтьев О.Б., Туголуков В.О., Башинский К.В. Оцінка бойових можливостей і ефективності бойових авіаційних комплексів при вирішенні ударних задач // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2012. – № 1. – С.25-27. URL. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nitps_2012_1_8.

28. Мильграм Ю.Г., Попов И.С. Боевая эффективность авиационной техники и исследование операций. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1970. – 499 с.

Надійшла до редколегії 16.10.2024

Схвалена до друку 15.11.2024

Відомості про авторів:

Мавренков Олексій Єфремович

доктор технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідної лабораторії
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6578-4833>

Матвійчук Сергій Віталійович

ад'юнкт
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-2774-0378>

Information about the authors:

Oleksii Mavrenkov

Doctor of Technical Sciences
Senior Researcher
Head of Research Laboratory
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6578-4833>

Serhii Matviichuk

Adjunct
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2774-0378>

ASSESSMENT OF THE RELATIVE IMPORTANCE (WEIGHT COEFFICIENTS) OF THE TACTICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MULTIFUNCTIONAL UNMANNED AVIATION COMPLEXES

O. Mavrenkov, S. Matviichuk

The article presents in detail the methodology and results of a formal assessment of the relative importance (weighting coefficients) of the tactical and technical characteristics of multifunctional unmanned aircraft complexes. Such evaluation, unlike expert evaluation, allows to minimize the negative influence of subjective factors. The methodology is based on mathematical modeling of the process of combat application of a multifunctional unmanned aircraft complex when it performs the tasks of aerial reconnaissance (species, radar and radio engineering) and defeating ground (surface) targets. The purpose of such a mathematical model is to study the impact of the tactical and technical characteristics of multifunctional unmanned aircraft systems on the effectiveness of their combat use as complex technical systems for military purposes. As the main indicators of the effectiveness of combat use, the probabilities of performing aerial reconnaissance combat tasks and hitting ground (surface) targets were chosen. The relative importance (weight factor) of a separate tactical and technical characteristic is calculated by the value of its "contribution" to the overall indicator of the effectiveness of the combat use of a multifunctional unmanned aircraft complex, which is understood as the relative value by which the indicator of the effectiveness of combat use changes when the value of the tactical and technical characteristic changes from minimum to maximum value. At the same time, other tactical and technical characteristics are fixed at their basic (as a rule, average) values. The article provides a structural diagram of the specified methodology and the results of determining the weighting factors of the tactical and technical characteristics of a multifunctional unmanned aircraft complex.

Keywords: coefficient of gravity, tactical and technical characteristics, mathematical model, effectiveness of combat use, unmanned aircraft complex, probability of combat mission, aerial reconnaissance, defeating targets.