

УДК 623.746.519

Володимир КИРИЛЕНКО,
доктор військових наук, професор,
Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький

Леонід АРТЮШИН,
доктор технічних наук, професор,
Державний науково-дослідний інститут авіації, м. Київ

Петро СТЕШЕНКО,
Державний науково-дослідний інститут авіації, м. Київ

МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ РОЗВІДУВАЛЬНИХ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті розглянуто вирішення актуальної науково-практичної задачі – створення математичного апарату багатокритеріального вибору розвідувальних БпАК з урахуванням ефективності їх бойового застосування, фінансових витрат та уникнення ризиків реалізації закупівельних проектів.

Ключові слова: *розвідувальний безпілотний авіаційний комплекс, ефективність бойового застосування, вартість, ризики, багатокритеріальний вибір, парето-оптимальність, раціональний (компромісний) варіант.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Повітряна розвідка є одним з найбільших інформативних видів воєнної розвідки, яка за-
© Кириленко В., Артюшин Л., Стешенко П.

безпечує бойові дії авіації та інших видів збройних сил і родів військ даними про протидіючі угруповання противника і геотопографічні характеристики району бойових дій [1].

Досвід проведення антитерористичної операції на сході України показав, що розвідувальні безпілотні авіаційні комплекси (БпАК) ВР-2 та ВР-3, які знаходяться на озброєнні ПС ЗС України протягом останніх 25...30 років, не відповідають сучасним вимогам як за льотно-тактичними, так і за технічними характеристиками бортового розвідувального обладнання, навіть по завершенні реалізації проектів їх модернізації, що наразі розглядаються. Отже, залишається гострою потреба в оснащенні ЗС України новими сучасними, досконалими зразками розвідувальних БпАК [2].

Серед можливих шляхів задоволення згаданої потреби є закупівля нових сучасних комплексів іноземного або вітчизняного виробництва. Він розглядається керівництвом як початкове завдання найближчої перспективи. Разом з тим наявність на ринку озброєнь значної кількості альтернативних зразків (навіть у одному класі БпАК) робить процес прийняття раціональних рішень щодо вибору потрібного зразка складним і багатогранним, що повинно передбачати використання досконалого науково-методичного апарату підтримки таких рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори. У процесі відповідних досліджень було проаналізовано існуючі та можливі методи теорії прийняття рішень, що можуть бути використані при виборі раціонального зразка БпАК як складної технічної системи. Існуючі методичні підходи до вибору зразків ОВТ засновані переважно на аналітичній ієрархії, кваліметричних моделях і математичному (імітаційному) моделюванні. Аналіз показав, що вони мають суттєві обмеження при їх практичному застосуванні для вирішення задачі вибору раціональних зразків БпАК, що не дозволяють коректно вирішувати задачі багатокритеріального вибору [3].

Проведений аналіз також показав, що вибір раціональних варіантів БпАК доцільно розглядати як формальну (в умовах визначеності) задачу вибору в багатокритеріальній постановці при рівноважному значенні

критеріїв, вирішення якої необхідно будувати на послідовному застосуванні двох методів: методу Парето (для звуження області можливих альтернативних варіантів БпАК до їх парето-оптимальної множини) та методу ідеальної точки (для визначення раціональних (компромісних) варіантів БпАК з визначеної попередньо парето-оптимальної області) [4–7]. Такий підхід обумовлено тим, що виділена множина включає тільки оптимальні варіанти розвідувальних БпАК тактичного класу, які з методологічної точки зору є однаково “корисними” при вирішенні задачі багатокритеріального вибору. Однак і така їх кількість ускладнює прийняття остаточного рішення особі, що приймає рішення (ОПР) на закупівлю певного (раціонального / компромісного) типу БпАК.

Метою статті є підвищення ефективності заходів з планування оновлення парку безпілотних авіаційних комплексів, за рахунок розвитку науково-методичного апарату в системі підтримки прийняття рішень, щодо оснащення відповідних підрозділів перспективними зразками авіаційної техніки, спрямованого на мінімізацію впливу суб’єктивного фактора.

Виклад основного матеріалу дослідження. Визначення такого раціонального / компромісного варіанту БпАК в роботі здійснюється за методом ідеальної точки (методом цільового програмування)

Критеріями вибору раціональних зразків розвідувальних БпАК з числа альтернативних було обрано:

- імовірність виконання бойового завдання;
- питому вартість утримання упродовж призначеного строку служби;
- реалізованість закупівельного проекту.

Авторами виконано удосконалення математичної моделі щодо визначення ймовірності виконання бойового завдання за напрямом обґрунтування нового узагальненого показника ефективності бойового застосування (ЕБЗ) БпАК, розширення переліку показників технічної досконалості розвідувального БпЛА за рахунок врахування характеристик візуальної, радіолокаційної та інфрачервоної його помітності, а також характеристик радіолокаційних та радіотехнічних бортових засобів розвідки. Структурну блок-схему математичної моделі для оцінювання ЕБЗ розвідувального БпАК наведено на рис. 1.

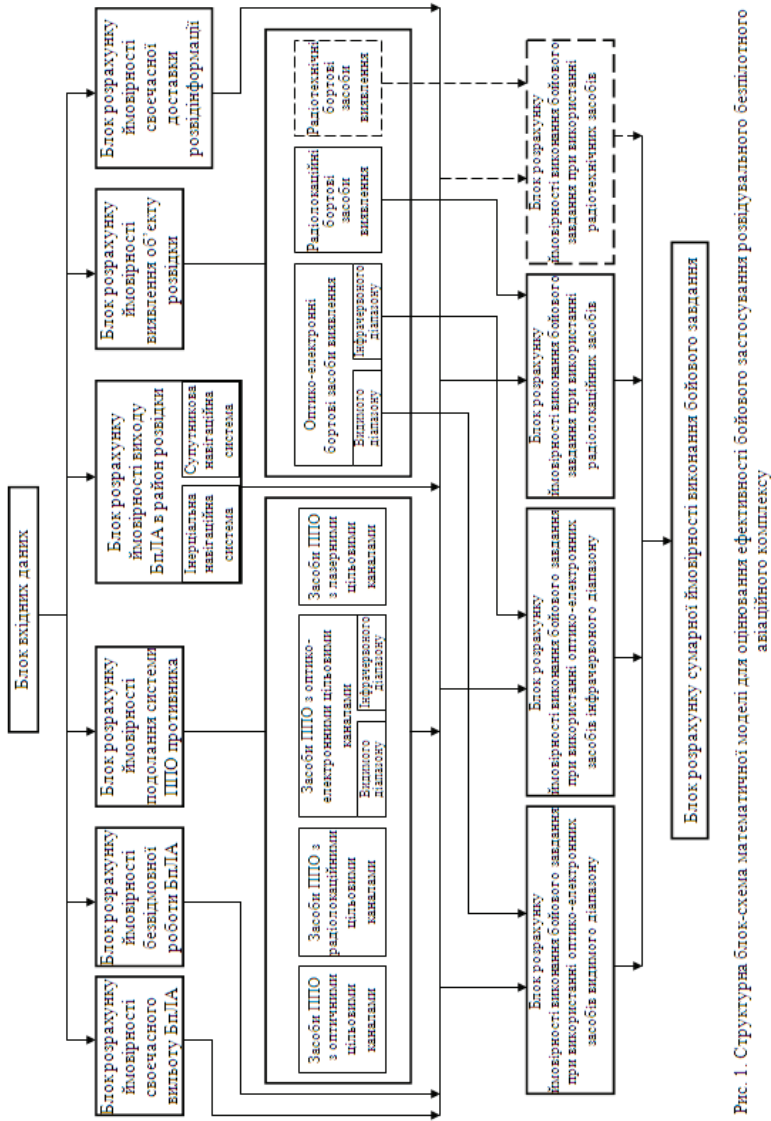


Рис. 1. Структурна блок-схема математичної моделі для оцінювання ефективності бойового застосування розвідувального безпілотного авіаційного комплексу

Для проведення порівняльного аналізу альтернативних зразків БпАК доцільно узагальненим показником ЕБЗ розвідувального БпАК обрати сумарну ймовірність виконання бойових завдань ($P_{\text{бз}}^{\Sigma}$), яка розраховується як добуток окремих імовірностей, що характеризують виконання завдань розвідки певним видом розвідувального обладнання (оптико-електронним, радіолокаційним, радіотехнічним), з урахуванням частоти виконання таких завдань:

$$P_{\text{бз}}^{\Sigma} = \sum_{k=1}^K \alpha^k P_{\text{бз}}^k, \quad (1)$$

де K – кількість видів бортового розвідувального обладнання БпЛА; α^k – коефіцієнт частоти виконання завдань розвідки k -м видом розвідувального обладнання такий, що $\sum_{k=1}^K \alpha^k = 1,0$; $P_{\text{бз}}^k$ – ймовірність виконання бойового завдання при використанні k -го виду розвідувального обладнання.

Коефіцієнт α^k частоти виконання завдань розвідки k -м видом розвідувального обладнання розраховується як відношення кількості вильотів v^k на виконання завдань розвідки k -м видом розвідувального обладнання за певний період часу до сумарної кількості вильотів на виконання завдань розвідки за цей же період:

$$\alpha^k = \frac{v^k}{v^{\Sigma}}. \quad (2)$$

Ймовірність $P_{\text{бз}}^k$ виконання бойового завдання при використанні k -го виду розвідувального обладнання розраховується як добуток окремих імовірностей, що характеризують етапи виконання польоту на розвідку заданих об'єктів:

$$P_{\text{бз}}^k = P_{\text{св.вил.}} \cdot P_{\text{бр.}} \cdot P_{\text{ППО}} \cdot P_{\text{вих.}} \cdot P_{\text{виявл.}}^k \cdot P_{\text{інф.}}, \quad (3)$$

де $P_{\text{св.вил.}}$ – імовірність своєчасного вильоту БпЛА; $P_{\text{бр.}}$ – імовірність безвідмовної роботи БпЛА протягом польоту; $P_{\text{ППО}}$ – імовірність подолання системи ППО противника; $P_{\text{вих.}}$ – імовірність виходу у заданий район розвідки; $P_{\text{виявл.}}$ – імовірність виявлення та розпізнавання об'єктів розвідки при використанні k -го

виду бортового розвідувального обладнання; $P_{\text{инф.}}$ – ймовірність своєчасної доставки розвідувальної інформації до споживача.

Ймовірність $P_{\text{св}}$ своєчасного вильоту визначається льотно-технічними характеристиками БПЛА та розраховується за формулою

$$P_{\text{св.вил}} = \frac{1}{1 + \frac{t_n}{t_{\text{оч}}}}, \quad (4)$$

де $t_{\text{оч}}$ – час, протягом якого зберігається ситуація, на яку визначена розвідка; t_n – час польоту на розвідку (складається з часу підготовки БПЛА до польоту та часу польоту до цілі).

Ймовірність $P_{\text{бр}}$ безвідмовної роботи БПЛА протягом польоту визначається показниками надійності силової установки, бортового устаткування та цільового спорядження (розвідувального обладнання) та розраховується за формулою

$$P_{\text{бр}} = \frac{1}{1 + \frac{t_n}{T_{\text{нв}}}}, \quad (5)$$

де $T_{\text{нв}}$ – час наробітку на відмову БпАК.

Ймовірність $P_{\text{ППО}}$ подолання системи ППО противника визначається характеристиками засобів (комплексів) ППО, висотно-швидкісними характеристиками БПЛА, показниками його помітності (візуальної, інфрачервоної і радіолокаційної) та розраховується за формулою

$$P_{\text{ППО}} = \prod_{i=1}^n P_{\text{зі}}, \quad (6)$$

де n – кількість комплексів ППО противника; $P_{\text{зі}}$ – ймовірність подолання i -го комплексу ППО противника.

Ймовірність подолання БПЛА i -го комплексу ППО розраховується за формулою

$$P_{\text{зі}} = 1 - (1 - P_i) \quad (7)$$

Імовірність подолання i -го комплексу ППО розраховується за формулою

$$P_i = (1 - P_{pli})^{N_{ppi}}, \quad (8)$$

де P_{pli} – імовірність ураження БПЛА однією ракетою i -го комплексу ППО противника; N_{ppi} – кількість реально випущених ракет визначається за формулою

$$N_{ppi} = N_{pi} p_{yi}, \quad (9)$$

де p_{yi} – коефіцієнт попереднього вогневого ураження; p_n – коефіцієнт індивідуальних та групових перешкод; N_{pi} – кількість ракет, що випущені по БПЛА i -м комплексом ППО противника, розраховується за формулою

$$N_{pi} = k_i \cdot N_{uci}, \quad (10)$$

де N_{uci} – кількість цільових каналів i -го комплексу ППО противника; k_i – кількість циклів стрільби, розраховується за формулою

$$k_i = t_i / t_{ucv}, \quad (11)$$

де t_{ucv} – заданий час циклу стрільби; t_i – час знаходження БПЛА в зоні ураження i -го комплексу ППО противника розраховується за формулою

$$t_i = l_i / V_{БПЛА}, \quad (12)$$

де l_i – довжина пройденого шляху БПЛА; $V_{БПЛА}$ – швидкість БПЛА.

При цьому показники помітності БПЛА враховуються через розрахунок максимального радіуса (дальності) дії засобу (комплексу) ППО за формулами [3]:

для комплексу ППО з пасивними засобами виявлення (оптико-електронні видимого та інфрачервоного діапазонів):

$$D = \sqrt{\frac{L_e S_o \tau_e \tau_0 \pi D_{зр}^2 \cos \varphi}{4 \Phi_{emin}}}, \quad (13)$$

де φ – кут між нормаллю до поверхні, що випромінює, та оптичною віссю оптико-електронною системи; S_o – площа поверхні БПЛА, що відбиває (випромінює);

D_{zp} – діаметр вхідної зіниці; τ_A – коефіцієнт пропуску випромінювання атмосфери; τ_0 – узагальнений коефіцієнт пропуску, Φ'_{emin} – мінімальний потік випромінювання; L_e – енергетична яскравість поверхні БПЛА.

Енергетична яскравість поверхні БПЛА визначається з урахуванням його температури за формулою

$$L_e = \frac{M_e}{2\pi} \quad (14)$$

де M_e – спектральна густина енергетичної світимості випромінювача, яка визначається при використанні закону Планка за формулою

$$M_{e,\lambda}(\lambda, T) = c_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)^{-1}, \quad (15)$$

де $c_1 = 3,74 \cdot 10^{-16}$ Вт·м²; $c_2 = 1,44 \cdot 10^{-2}$ м·К; T – температура БПЛА, яка обумовлюється, насамперед, температурою вихідних газів силової установки БПЛА; λ – довжина хвилі випромінювання;

для комплексу ППО з активними засобами виявлення (радіолокаційні, лазерні):

$$D = \sqrt[6]{\frac{\rho_u \Phi_{el} \tau_{onep} \tau_c^2 \tau_{onp} S_e D_{zp}^2 H^2}{8\pi \omega^2 \Phi'_{emin}}}, \quad (16)$$

де ρ_u – коефіцієнт дифузрного відображення поверхні, що випромінює (поверхні цілі); Φ_{el} – потужність випромінювання лазера; τ_{onep} – коефіцієнт пропускання випромінювання передаючого засобу виявлення; τ_c – коефіцієнт пропускання випромінювання атмосфери; τ_{onp} – коефіцієнт пропускання випромінювання ОЕС приймача; ω – кут розбіжності пучка випромінювання лазера; H – висота польоту БПЛА; $\Phi'_e = \Phi'_{emin}$ – потік випромінювання, що діє на приймач; D_{zp} – діаметр вхідної зіниці; Φ'_{emin} – мінімальний потік випромінювання; S_e – ефективна площа розсіювання БПЛА.

Отже, при розрахунку ймовірності подолання ППО противника, враховуються: розміри БПЛА (його площа) – як показник візуальної помітності; ефективна поверхня розсіювання – як показник радіолокаційної помітності; температура вихідних газів силової установки – як показник теплової помітності.

Ймовірність $P_{вих}$ виходу БПЛА у заданий район розвідки визначається, насамперед, точністними характеристиками його бортового навігаційного обладнання.

При наявності на БПЛА тільки інерціальної навігаційної системи ймовірність виходу у заданий район розраховується за формулою:

$$P_{вих.} = P(-l_{zp} \leq l \leq +l_{zp}) = \Phi_0\left(\frac{+l_{zp} - m_n}{\sigma_n}\right) - \Phi_0\left(\frac{-l_{zp} - m_n}{\sigma_n}\right), \quad (17)$$

де $-l_{zp}$, $+l_{zp}$ – граничні значення бокового відхилення БПЛА від лінії заданого шляху; Φ_0 – функція Лапласа; m_n , σ_n – характеристики точності навігаційної системи БПЛА математичного очікування бокового відхилення БПЛА в момент виявлення об'єкти розвідки і його середнє квадратичне відхилення, відповідно.

Граничні значення бокового відхилення БПЛА від лінії заданого шляху визначаємо за формулою

$$\pm l_{zp} = \frac{B}{2}, \quad (18)$$

де B – ширина ділянки, що оглядається.

При наявності у складі навігаційної системи БПЛА приймача супутникової навігаційної системи ймовірність виходу у заданий район приймається рівною 1,0.

Ймовірність $P_{виявл}^k$ виявлення та розпізнавання об'єктів розвідки визначається окремо для кожного k -го виду бортового розвідувального обладнання, яким може бути споряджено БПЛА, – оптико-електронного видимого діапазону, оптико-електронного інфрачервоного діапазону та радіолокаційного.

Ймовірність $P_{виявл}^{TB}$ виявлення та розпізнавання об'єктів розвідки оптико-електронними засобами видимого діапазону розраховується за допомогою удосконаленої формули Живичина:

$$P_{виявл.} = \exp \left[\frac{\ln \alpha}{\lg \frac{1+K}{1-K}} \left(\frac{d}{d_0} \right) \right]^2, \quad (19)$$

де α – рівень достовірності, зазвичай $\alpha = 0,95$; d_0 – характерна потрібна детальність; K – радіометричний контраст об'єктів, як правило, $K = 0,2$; d – еквіва-

лентна просторова розрізненість цільового спорядження визначається за формулою

$$d = H \frac{a}{f}, \quad (20)$$

де a – розмір пікселя; f – фокусна відстань оптичної системи; H – висота польоту БПЛА.

Імовірність $P_{виявл.}^{IQ}$ виявлення та розпізнавання об'єктів розвідки оптико-електронними засобами інфрачервоного діапазону розраховується за формулою (27), але з визначенням K :

$$K = \frac{|M_0 - M_D|}{M_0 + M_D}, \quad (21)$$

Радіометричний контраст в інфрачервоній спектрорадіометричній знімальній апаратурі при зніманні вночі визначається в основному спектральною щільністю енергетичної яскравості $M(\lambda, T)$ власного теплового випромінювання об'єкта і фону відповідно до закону Планка [3]:

$$M_{o,\phi}(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{hc}{k\lambda T_{o,\phi}}\right) - 1 \right]}, \quad (22)$$

де λ – довжина хвилі електромагнітного випромінювання; T – температура об'єкта; h – стала Планка; c – швидкість світла у вакуумі; k – стала Больцмана.

Імовірність $P_{виявл.}^{PL}$ виявлення та розпізнавання об'єктів розвідки радіолокаційними засобами розраховується за формулою

$$P_{виявл.} = \exp \left[\frac{\ln \alpha}{\lg \frac{1+K}{1-K}} \left(\frac{d}{d_{np}} \right) \right]^2, \quad (23)$$

де d_{np} – просторова розрізненість на певній дальності.

При неможливості застосування того чи іншого виду розвідувального обладнання на БПЛА відповідна ймовірність виявлення

та розпізнавання об'єктів розвідки за допомогою такого виду розвідувального обладнання приймається рівною нулю.

Імовірність $P_{инф}$ своєчасної доставки розвідувальної інформації до споживача визначається характеристиками каналу зв'язку "БпЛА – наземний комплекс", засобів оброблення та передавання інформації наземної частини БпАК та розраховується за формулою:

$$P_{инф} = e^{-\frac{t_{виявл}}{t_{виявл} + t_{нд} + t_{идент}}}, \quad (24)$$

де $t_{виявл}$ – час, витрачений на виявлення цілі; $t_{нд}$ – час передачі даних від БпЛА до пункту управління; $t_{идент}$ – час ідентифікації об'єкта, залежить від ефективності розвідувального обладнання БпЛА та підготовки осіб бойових розрахунків пункту управління.

Коефіцієнт α^k частоти виконання завдань розвідки k -м видом розвідувального обладнання отримано на основі узагальнення досвіду застосування розвідувальних БпАК у збройних конфліктах сучасності, зокрема, при проведенні антитерористичної операції на Сході України. Для розрахунків приймалися такі значення α^k : 0,5 – оптична розвідка видимого діапазону; 0,3 – оптична розвідка інфрачервоного діапазону; 0,2 – радіолокаційна розвідка.

Достовірність отриманих даних підтверджується коректною постановкою задачі дослідження, коректним вибором вхідних даних, припущень, показників і критеріїв ефективності, які підтверджені практикою, а також застосуванням апробованих математичних методів.

Основна задача дослідження, як задача багатокритеріального вибору, формулюється так: у тривимірному критеріальному просторі "ймовірність виконання бойової задачі – питома вартість утримання – реалізованість закупівельного проекту" сформувані допустиму з точки зору класифікації множину альтернативних БпАК й виділити з неї парето-оптимальну область, визначити з якої раціональні (компромисні) варіанти БпАК.

На основі часткових методик оцінювання критеріїв вибору (ймовірність виконання бойового завдання, питома вартість утримання

упродовж призначеного строку служби, реалізованість закупівельного проекту), було розроблено математичний апарат багатокритеріального вибору раціонального варіанта розвідувального БпАК, загальну структурну схему якої представлено на рис. 2.

На першому етапі здійснюється постановка (уточнення) задачі, тобто формулюються відповідні уподобання (переваги) особою, що приймає рішення (ОПР), і вид необхідного впорядкування варіантів БпАК. Уточнюється мета вибору, зміст поняття “раціональний варіант БпАК” і визначається при цьому тип (клас, вид) БпАК, що вибираються.

На другому етапі формується перелік альтернативних варіантів розвідувальних БпАК на основі аналізу ринку озброєнь, техніко-комерційних пропозицій, що надійшли, досвіду реалізації закупівельних проектів у сфері БпАК тощо.

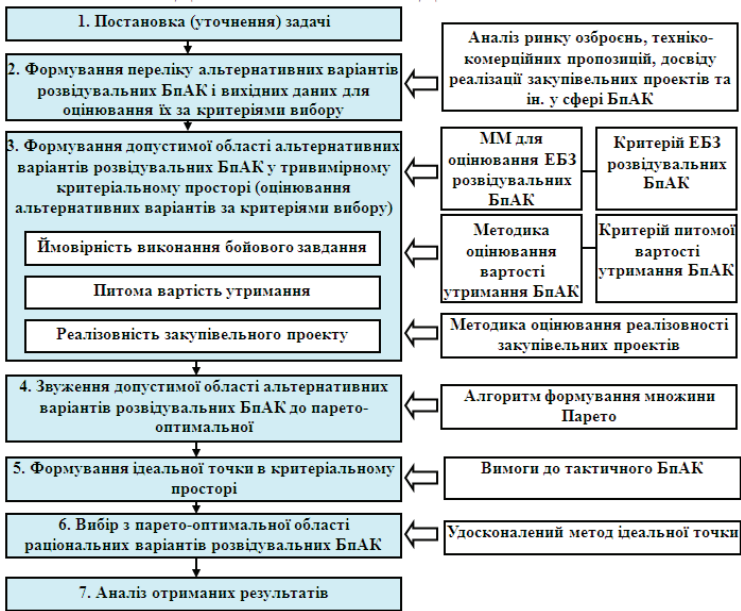


Рис. 2. Загальна структурна схема методики багатокритеріального вибору розвідувальних БпАК

На цьому ж етапі готується масив вихідних даних для оцінювання БпАК за критеріями вибору стосовно оцінювання ефективності бойового застосування (ЕБЗ), питомої вартості утримання БпАК і реалізованості закупівельних проектів на основі аналізу ТТХ альтернативних розвідувальних БпАК, досвіду їх бойового застосування, статей витрат, пов'язаних з придбанням та утриманням БпАК, потенційних постачальників БпАК тощо.

На третьому етапі відбувається формування допустимої області альтернативних варіантів розвідувальних БпАК у тривимірному критеріальному просторі на основі результатів оцінювання альтернативних варіантів за критеріями вибору – ймовірністю виконання бойового завдання, питомою вартістю утримання БпАК впродовж призначеного строку служби [8] й реалізованістю закупівельного проекту з придбання БпАК.

На четвертому етапі здійснюється звуження допустимої області альтернативних варіантів розвідувальних БпАК до парето-оптимальної на основі відомого алгоритму формування множини Парето [7].

На п'ятому етапі виконується побудова ідеальної точки ("ідеального" варіанта БпАК) у критеріальному просторі. При цьому запропоновано для використання у відповідному контексті удосконалений метод ідеальної точки, що полягає у відмові від уявного (не існуючого в природі) варіанта БпАК з гранично максимальною ефективністю й нульовою вартістю, а, натомість, утворення такого варіанта, що формується на основі положень керівних документів.

На шостому етапі здійснюється вибір за допомогою удосконаленого методу ідеальної точки, заснованому на принципі задоволення умови мінімуму відстані до точки ідеалу у критеріальному просторі, з парето-оптимальної області раціональних варіантів розвідувальних БпАК, отриманої попередньо на четвертому етапі процесу.

На сьомому заключному етапі виконується аналіз отриманих результатів, відповідність визначених раціональних варіантів БпАК уподобанням (перевагам) ОПР, прийняття остаточного рішення на закупівлю потрібного зразка БпАК або корегування вихідних даних для усунення недоліків, виявлених ОПР.

Апробацію представленої методики здійснено при виборі тактичних розвідувальних БпАК.

Множина альтернативних варіантів існуючих серійних зразків розвідувальних БпАК тактичного класу при апробації методики складала 13 одиниць: Shadow RQ-7A (США); Hermes 90 (Ізраїль); Sperwer B (Франція); Aerostar (Ізраїль); Aerolight (Ізраїль); Luna (Німеччина); Scan Eagle (США); Skylark II (Ізраїль); Viking 400 (США); Shahpar (Пакистан); Siva (Іспанія); Seeker 400 (ПАР); Falco (Італія).

Також для попередньої порівняльної оцінки конкурентоспроможності до множини альтернативних варіантів було введено проект вітчизняного розвідувального БпАК тактичного класу АН-БК-1, що на цей час розробляється державним підприємством “Антонов”.

Типовий сценарій застосування оцінюваних БпАК передбачав розташування об’єкта розвідки в тактичній глибині (до 60 км від лінії бойового зіткнення), подолання на маршруті польоту таких засобів ППО противника, як переносний зенітний ракетний комплекс “Ігла-С” і зенітний артилерійський комплекс “Оса-АКМ”.

Сценарій застосування оцінюваних БпАК передбачає розташування об’єкта розвідки в тактичній глибині (до 60 км від лінії бойового зіткнення), подолання на маршруті польоту таких засобів ППО противника, як: переносний зенітний ракетний комплекс “Ігла-С”, зенітний артилерійський комплекс “Оса АКМ”. Типовим об’єктом розвідки обрано артилерійську батарею на вогневій позиції, озброєну гаубицями (гарматами). Даний об’єкт розвідки характеризується мінімальними значеннями показників лінійної розрізненості на місцевості у порівнянні з іншими типовими об’єктами розвідки, що значно ускладнює процес його виявлення. Отже, оцінювання ЕБЗ БпАК здійснюється для найскладнішого, з точки зору розвідки, типового об’єкта, визначеного в керівних документах.

Оперативно-тактична обстановка, яка враховується в моделі, характеризується побудовою типової системи ППО противника, що наведена на рис. 3.

Аналіз отриманих даних показує, що за критерієм ЕБЗ перевагу мають БпАК Hermes 90 (Ізраїль), Skylark II (Ізраїль), Aerolight (Ізра-

іль), Shadow RQ-7A (США). Високе значення показника ймовірності виконання бойового завдання для вказаних зразків БпАК забезпечується, в першу чергу, коштом відповідних характеристик бортового розвідувального обладнання, тривалості польоту, маси корисного навантаження, максимальних висоти та швидкості польоту, а також порівняно незначних геометричних розмірів БпЛА, що забезпечує мінімальну візуальну його помітність при подоланні засобів ППО противника.

За критерієм питомої вартості утримання перевагу мають БпАК Aerostar (Ізраїль), Aerolight (Ізраїль), Shadow RQ-7A (США). Низька питома вартість утримання вказаних зразків БпАК забезпечується, в першу чергу, коштом порівняно низької вартості БпЛА та льотної години їх експлуатації.

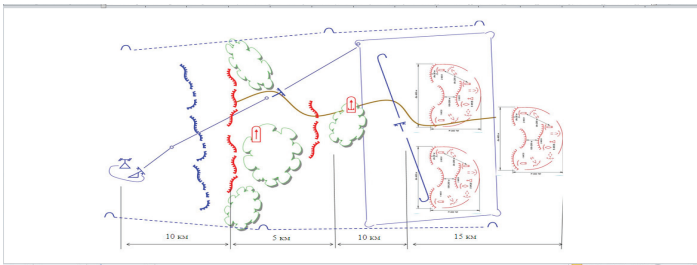


Рис. 3. Принципова схема побудови сил, засобів та системи протиповітряної оборони противника

За критерієм реалізованості закупівельного проекту перевагу мають американські БпАК Shadow RQ-7A, Scan Eagle, Viking 400, французький Sperwer B і німецький Luna. Успішність реалізації ЗП вказаних зразків БпАК забезпечується, в першу чергу: високим рівнем надійності (міжнародного авторитету) компанії-постачальника АТ і достатнім рівнем ВТС з країною постачальником.

Ідеальна точка (“ідеальний” варіант розвідувального БпАК тактичного класу) з урахуванням нормування критеріального простору має координати (0,83;0,14;0,91).

Визначення раціонального (компромісного) варіанта розвідувального БпАК тактичного класу з числа ефективних (парето-опти-

мальних) здійснювалося за умовою мінімуму відстані D_i^{TI} до ідеальної точки в нормованому критеріальному просторі:

$$D_i^{TI} = \sqrt{(\bar{P}_{\delta_{3TI}}^{\Sigma} - \bar{P}_{\delta_{3i}}^{\Sigma})^2 + (\bar{C}_{\text{нлт}_{TI}} - \bar{C}_{\text{нлт}_i})^2 + (\bar{\Omega}_{TI} - \bar{\Omega}_i)^2} \rightarrow \min, \quad (25)$$

де $\bar{P}_{\delta_{3TI}}^{\Sigma}$, $\bar{C}_{\text{нлт}_{TI}}$, $\bar{\Omega}_{TI}$ – нормовані значення відповідних показників вибору БпАК.

Результати визначення раціонального (компромісного) варіанта розвідувального БпАК тактичного класу подано в таблиці.

Результати визначення раціонального (компромісного) варіанта розвідувального БпАК тактичного класу

№ з/п	Найменування БпАК (країна-постачальник)	Значення критеріїв вибору (натуральні / нормовані)			Відстань до ідеальної точки	№ пріоритету
		$\bar{P}_{\delta_{3TI}}^{\Sigma}$	$\bar{C}_{\text{нлт}_{TI}}$	$\bar{\Omega}_{TI}$		
1	Shadow RQ-7A (США)	0,60/0,60	1,50/0,33	0,85/0,85	0,30	1
2	Hermes 90 (Ізраїль)	0,62/0,62	1,66/0,44	0,70/0,70	0,42	4
3	Aerostar (Ізраїль)	0,53/0,53	1,43/0,29	0,72/0,72	0,35	2
4	Aerolight (Ізраїль)	0,52/0,52	1,54/0,36	0,73/0,73	0,37	3
5	проект АН-БК-1 (Україна)	0,56/0,56	1,21/0,14	0,91/0,91	0,27	-

Висновки. Отримані в роботі основні наукові результати реалізовано у вигляді практичних рекомендацій щодо вибору варіантів закупівлі розвідувальних БпАК тактичного класу на ринку озброєнь. З таблиці видно, що найменше значення показника D_i^{TI} серед серійних зразків оцінюваних БпАК має Shadow RQ-7A виробництва амери-

канської компанії AAI Corporation, який і визначено як раціональний (компромісний) варіант розвідувального БпАК тактичного класу.

Оцінювання проекту вітчизняного розвідувального БпАК АН-БК-1 показало, що за умови практичної реалізації закладених на стадії проектування тактико-техніко-економічних вимог (рішень) цей комплекс за показником мінімуму відстані до ідеальної точки в нормованому критеріальному просторі буде переважати комплекс Shadow RQ-7A на 11 %, що зробить АН-БК-1 пріоритетним серед розглянутих альтернативних варіантів БпАК.

Список використаної літератури

1. Артюшин Л. М., Мосов С. П., П'ятигорський Д. В., Толубко В. Б. Аеро-космічна розвідка в локальних війнах сучасності: досвід, проблемні питання і тенденції.

2. Згурец С. Г. Оружие Украины. Беспилотники: призыв на войну. Беспилотные авиационные комплексы: создание и применение. – Київ : 2015. 96 с.

3. Беспилотные авиационные комплексы: Методика сравнительной оценки боевых возможностей / (Митрахович М. М., Силков В. И., Самков А. В. и др.; под ред. В. И. Силкова. Киев : ЦНИИ ВВТ ВС Украины. 2012. 288 с.

4. Воронин А. Н., Зиатдинов Ю. К., Харченко А. В., Осташевский В. В. Сложные технические и эргатические системы: методы исследования : монография. Харьков : Факт, 1997. 240 с.

5. Артюшин Л. М., Зиатдинов Ю. К., Попов И. А., Харченко А. В. Большие технические системы: проектирование и управление : монография / под ред. Попова И. А. – Харьков : Факт, 1997. 400 с.

6. Попов И. А., Скворцов В. В., Мицитис А. К. Исследование и проектирование больших технических систем. К. : КИ ВВС, 1995. 252 с.

7. Подиновский В. В., Ногин В. Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. Москва : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. 256 с.

8. Стешенко П. М., Леженін С. І. Методичні особливості оцінювання фінансових витрат у системі вибору альтернативних зразків безпілотних авіаційних комплексів військового призначення. *Збірник наукових праць ДНДІА*. Київ : ДНДІА, 2016. Вип. № 12(19). С. 102–108.

Кириленко В. А., Артюшин Л. М., Стешенко П. Н. **Математический аппарат многокритериального выбора разведывательных беспилотных авиационных комплексов**

В статье рассмотрено решение актуальной научно-прикладной задачи – создание математического аппарата многокритериального выбора разведывательных БПАК с учётом эффективности их боевого применения, финансовых затрат и избежания рисков реализации закупочных проектов.

Ключевые слова: *разведывательный беспилотный авиационный комплекс, эффективность боевого применения, стоимость, риски, многокритериальный выбор, парето-оптимальность, рациональный (компромиссный) вариант.*

Kyrylenko V.A., Artyushin L.M., Stetschenko P. M. **Mathematical application of a multiple criterion selection reliable safety aviation complexes**

The method of multicriteria selection of reconnaissance unmanned aeronautical complexes, which is based on the improved method of an ideal point in a three-dimensional criterion space, “the probability of performing a combat task - the specific cost of maintenance - the feasibility of a procurement project, is developed”.

The application of the methodology of multicriteria selection of reconnaissance unmanned aeronautical complexes for the needs of the Armed Forces of Ukraine, as an interconnected set of mathematical models, methods, algorithms and practical recommendations, developed in the work will allow:

- to expand the possibilities of software and methodological support of a promising automated system of support for making decisions on the justification and adjustment of state targeted programs for the development of armaments and military equipment in the part of updating unmanned aerial vehicles;
- to increase the feasibility of procurement projects for the supply of unmanned aeronautical complexes at the expense of timely evaluation and further minimization of the influence of negative factors of organizational,

financial, economic and other nature by managing the appropriate risks of the implementation of procurement projects;

- to minimize the influence of the subjective factor in the decision-making system on equipping promising models of aviation engineering at the expense of algorithmization and programming of the procedure for the selection of rational samples of unmanned aeronautical complexes.

Keywords: *reconnaissance unmanned aeronautical complex, efficiency of combat application, cost, risks, multicriteria choice, pareto-optimality, rational (compromise) variant.*