

УДК 623.746.-519

Є.Ю. Іленко<sup>1</sup>, П.М. Стешенко<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

## МЕТОДИКА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ РОЗВІДУВАЛЬНИХ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

У статті представлено результати розроблення комплексної методики вибору раціональних зразків розвідувальних безпілотних авіаційних комплексів з урахуванням ефективності їх застосування, витрат ресурсів та ризиків реалізації закупівельних проектів.

**Ключові слова:** безпілотний авіаційний комплекс, безпілотний літальний апарат, ефективність бойового застосування, питома вартість, реалізованість, вибір раціонального зразка.

### Вступ

Актуальність оснащення підрозділів Збройних Сил України новітніми безпілотними авіаційними комплексами (БпАК), в першу чергу розвідувального призначення, обумовлена: світовою тенденцією все більш ефективного використання БпАК у сучасних збройних конфліктах, в тому числі досвідом проведення АТО на сході України; необхідністю виконання у повній мірі завдань БпАК, що перебувають на озброєнні ЗСУ; прийнятими на вищому рівні Міністерства оборони України та Генерального штабу ЗС України програмними документами щодо оснащення БпАК ЗСУ.

Виконання цих документів передбачає наступні основні шляхи оснащення ЗСУ сучасними зразками БпАК:

– розроблення (як власними силами, так і у кооперації з іноземними партнерами) перспективних зразків та їх постачання у війська;

– закупівля серійних сучасних зразків (як національного так і закордонного виробництва).

За світовим досвідом на розроблення перспективних зразків БпАК класів тактичний, оперативно-тактичний потрібно до 7 років. Тому оснащення ЗСУ за таким напрямом розглядається як середньотривале перспективи. Закупівля серійних сучасних БпАК є задачею найближчої перспективи. Але наявність на ринку озброєнь великої кількості альтернативних зразків (навіть за однаковим рівнем застосування БпАК) робить процес прийняття рішень щодо вибору раціонального варіанту складним та багатограним, що потребує спираючись на розвинуту науково-методичну базу підтримки таких рішень.

**Постановка задачі.** Проведені дослідження виявили об'єктивне протиріччя між потребою органів військового управління в обґрунтуванні рішень щодо вибору раціональних зразків БпАК з числа альтернативних при їх закупівлі та можливостями існуючого науково-методичного апарату ефективно вирішувати цю задачу.

**Метою статті** є розроблення методики вибору раціонального варіанту розвідувального БпАК, як елемента системи підтримки прийняття рішення, що є актуальним на етапах планування програмних заходів з розвитку авіаційної техніки.

### Основна частина досліджень

У процесі дослідження критеріями вибору раціонального варіанту БпАК було обрано:

– ймовірність виконання бойового завдання розвідувальним БпАК, як показник ефективності його бойового застосування;

– питома вартість утримання БпАК упродовж призначеного строку служби, як показник витрат фінансових ресурсів, пов'язаних з придбанням та експлуатацією БпАК;

– реалізованість закупівельного проекту, як показник успішності закупівлі БпАК в умовах впливу можливих ризиків.

Аналіз методів, що використовуються в науково-дослідних установах Міністерства оборони України для оцінювання ефективності застосування (військово-технічного рівня) зразків ОВТ, показав, що математичне моделювання є найбільш прийнятним з точки зору раціонального співвідношення між достовірністю оцінок та трудовитратами, але це потребує розроблення дослідницької математичної моделі бойового застосування БпАК.

Для проведення порівняльного аналізу альтернативних зразків БпАК доцільно узагальненим показником ефективності бойового застосування розвідувального БпАК обрати сумарну ймовірність виконання бойових завдань ( $P_{03}^{\Sigma}$ ), яка розраховується як добуток окремих ймовірностей, що характеризують виконання завдань розвідки певним видом розвідувального обладнання (оптико-електронним, радіолокаційним, радіотехнічним), з урахуванням частоти виконання таких завдань:

$$P_{03}^{\Sigma} = \sum_{k=1}^K \alpha^k P_{03}^k, \quad (1)$$

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

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

$$P_{\text{оз}}^k = P_{\text{св}} \cdot P_{\text{бр}} \cdot \bar{P}_{\text{ппо}} \cdot P_{\text{вих}} \cdot P_{\text{виявл}}^k \cdot P_{\text{інф}}. \quad (3)$$

де  $P_{\text{св}}$  – ймовірність своєчасного вильоту БПЛА;  $P_{\text{бр}}$  – ймовірність безвідмовної роботи БПЛА протягом польоту;  $\bar{P}_{\text{ппо}}$  – ймовірність подолання системи ППО противника;  $P_{\text{вих}}$  – ймовірність виходу у заданий район розвідки;  $P_{\text{виявл}}^k$  – ймовірність виявлення та розпізнавання об'єктів розвідки при використанні  $k$ -го виду бортового розвідувального обладнання;  $P_{\text{інф}}$  – ймовірність своєчасної доставки розвідувальної інформації до споживача.

Методику оцінювання показника ефективності бойового застосування розвідувального БпАК представлено в [1].

Відомі методики воєнно-економічного аналізу зразків АТ використовують такі показники витрат фінансового ресурсу: ринкова вартість  $i$ -го зразка АТ; вартість контракту на поставку певної кількості (партії)  $i$ -х зразків АТ; вартість однієї години експлуатації  $i$ -го зразка АТ; вартість життєвого циклу  $i$ -го зразка АТ. Крім того існують підходи, в основу яких покладено оцінювання зміни контрактної питомої ціни зразка, як відношення ціни повністю обладнаного серійного зразка АТ до маси його пустого.

Кожний окремих з перелічених показників не дозволяє коректно використовувати його у системі прийняття рішень щодо вибору зразка БпАК при його закупівлі, оскільки не враховує у повній мірі фінансові витрати, що пов'язані як власне з процедурою його закупівлі, так і подальшою його експлуатацією (утриманням).

У процесі дослідження розроблено показник витрат фінансових ресурсів, який представляється у

виді питомої вартості утримання БпАК упродовж його призначеного строку служби ( $C_{\text{пит}}$ ):

$$C_{\text{пит}} = \frac{C_K + C_Y}{T_{\text{ПСС}}}. \quad (4)$$

де  $C_K$  – вартість контракту на поставку БпАК;  $C_Y$  – вартість утримання БпАК;  $T_{\text{ПСС}}$  – призначений строк служби БпАК.

За своїм фізичним змістом показник  $C_{\text{пит}}$  комплексно характеризує вартість одного року строку служби закуповуваної партії БпАК з урахуванням контрактної ціни та витрат на їх експлуатацію.

Методику оцінювання витрат фінансових ресурсів, пов'язаних з оснащенням розвідувальними БпАК представлено в [2].

Аналіз методологічних підходів до оцінювання ризиків реалізації закупівельних проектів показав, що є потенційна можливість їх удосконалення у напрямках врахування більшої кількості ризикоутворюючих факторів та більш точного їх оцінювання через описання у вигляді функцій приналежності як нечітких чисел.

На думку автора слушним є підхід, викладений в [3], де пропонується розглядати реалізованість  $j$ -го програмного заходу (ПЗ) ( $\Omega_j$ ) як очікуваність успішної його реалізації – величину, зворотну ймовірності виникнення визначального ризику реалізації  $j$ -го ПЗ ( $p_j$ ):

$$\Omega_j = (1 - p_j) \cdot 100\%. \quad (5)$$

При цьому під "визначальними" в роботі [3] розуміються ризики, настання яких є критичним для успішної реалізації ПЗ та може призвести до невиконання (зриву) ПЗ в цілому.

На думку автора таке трактування визначального ризику ПЗ є досить розмитим та складним для розуміння по відношенню до закупівельного проекту (ЗП). Пропонується під визначальним ризиком ЗП розуміти результат комплексного впливу основних ризикоутворюючих факторів, що супроводжують ЗП. Кількісною оцінкою такого результату є ймовірність настання визначального ризику ЗП, обумовленого впливом ризикоутворюючих факторів.

Зважаючи на об'єктивні труднощі визначення величини ймовірності ризику класичними методами теорії ймовірності та статистичного аналізу, для кількісного оцінювання показника реалізованості ПЗ у [3] пропонується розрахунок ймовірності виникнення визначальних ризиків ПЗ здійснювати на основі синтезу науково-методологічних апаратів теорії ризиків і теорії нечітких множин. Математичний апарат теорії нечітких множин дозволяє оцінювати параметр ймовірності (або в термінах теорії нечітких множин – "очікуваності") певної події в умовах невизначеності при відсутності достатнього обсягу статистичної інформації та

неможливості формалізації (моделювання) стохастичних процесів, що досліджуються [4].

Автором запропоновано удосконалення методичного підходу до оцінювання очікуваності настання визначального ризику ПЗ, викладеного в [3], в частині його адаптації до особливостей такого програмного заходу, як ЗП, уточнення та розширення переліку основних ризикутворюючих факторів, що впливають на успішність реалізації ЗП, і застосування алгоритму нечіткого логічного виводу Сугено замість алгоритму Мамдані.

Методику оцінювання ризиків реалізації закупівельних проектів, пов'язаних з оснащенням розвідувальними БпАК представлено в [4].

При визначенні трьох вищевказаних критеріїв постає задача вибору раціонального зразка певної призначеності. Її розв'язання можливе при використанні методів багатокритеріальної оптимізації [5]. Тут проблема полягає у виборі кращого (раціонального, компромісного) варіанту з паретооптимальної області.

Існує багато таких варіантів, але на сьогодні не доведено, що той чи інший метод є кращим (правильним), а обраний за цим методом варіант рішення є остаточно вірним і кращим за інші паретооптимальні варіанти [5–6].

Як базовий для знаходження раціонального (компромісного) варіанту рішення автором було обрано метод мінімуму відстані до точки "ідеалу" у нормованому критеріальному просторі [7]. Цей метод має інтуїтивно зрозумілий фізичний зміст та низьку трудомісткість розрахунків. Згідно з цим методом кращим (раціональним, компромісним) варіантом рішення з паретооптимальної області є варіант у вигляді точки критеріального простору, яка найменше віддалена від так званої точки "ідеалу" – умовної точки нормованого критеріального простору з координатами, що відповідають кращим (бажаним) значенням показників вибору.

Нормування передбачає приведення показників якості різної фізичної природи до єдиної шкали вимірювання в діапазоні [0; 1].

Класичний метод оперує нормованими показниками (координатами) "ідеальної" точки, які не можуть об'єктивно існувати взагалі. Так у задачі, що розглядається "ідеальним" розвідувальним БпАК є зразок з показниками ймовірності виконання бойового завдання та реалізованістю закупівельного проекту рівними 1,0 та питомою вартістю його утримання, що дорівнює 0.

Автором запропоновано удосконалення методу "ідеальної" точки в частині визначення як "ідеального", такого умовно оптимального зразка БпАК, що володіє кращими характеристиками (технічними, вартісними тощо) з числа існуючих зразків.

Визначення показника ймовірності виконання бойового завдання такого "ідеального" зразка БпАК

здійснюється на основі оптимізаційного методу зондування факторного простору на основі ЛП-τ пошуку [6]. Показники реалізованості закупівельного проекту та питомої вартості утримання "ідеального" зразка БпАК приймаються як кращі значення серед альтернативних зразків, що оцінюються.

Умовна графічна інтерпретація визначення кращого (раціонального, компромісного) варіанту рішення з паретооптимальної області за допомогою методу мінімуму відстані до точки "ідеалу" у критеріальному просторі для випадку трьох критеріїв ( $k_1, k_2$  – максимізуються,  $k_3$  – мінімізується) приведена на рис. 1.

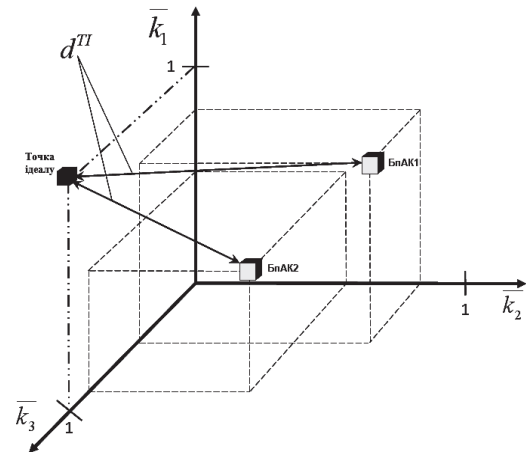


Рис. 1. Графічна інтерпретація визначення кращого (раціонального, компромісного) варіанту рішення за допомогою методу мінімуму відстані до точки "ідеалу"

Відстань  $d^{II}$  до точки "ідеалу" у тривимірному критеріальному просторі буде визначатися за формулою:

– для критеріїв, що максимізуються:

$$d^{II} = \sqrt{(1 - \bar{k}_1)^2 + (1 - \bar{k}_2)^2 + (1 - \bar{k}_3)^2}; \quad (6)$$

– для критеріїв, що мінімізуються:

$$d^{II} = \sqrt{\bar{k}_1^2 + \bar{k}_2^2 + \bar{k}_3^2}. \quad (7)$$

Апробація розробленої методики при виборі кращого зразка розвідувального БпАК відбувалась при порівнянні трьох альтернативних зразків.

Зразки БпАК є паретооптимальними, тобто не порівняними між собою за визначеними критеріями (так зразок 1 має більшу ЕБЗ, однак і більшу вартість у порівнянні з зразком 2, тобто перевага одного варіанта над іншим не є очевидною).

Метод ідеальної точки дозволяє здійснити порівняння паретооптимальних варіантів і визначити раціональний за умовою мінімуму відстані до точки "ідеалу" у нормованому критеріальному полі.

Аналіз даних, наведених в табл. 1 показує, що БпАК Hermes 90 є раціональним зразком з числа оцінюваних, тому що має найменше значення відстані до точки "ідеалу", що обумовлюється, насамперед: високими льотно-технічними характеристиками; сучасним

багатоцільовим розвідувальним обладнанням; низькою візуальною та радіолокаційною помітністю; низькою питомою вартістю утримання БпАК упродовж його

призначеного строку служби та високим показником реалізації закупівельного проекту.

Таблиця 1

Результати розрахунку раціонального варіанту розвідувального БпАК

Тип БпАК	$\bar{P}_{63}^k$	$\bar{C}_{\text{шт}}$	$\bar{R}$	$d^{\text{TI}}$
Shadow RQ-7A	0,67	0,2133	0,82	0,4796
Hermes 90	0,65	0,1	0,85	0,4013
Sperwer B	0,42	0,2212	0,75	0,7117

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.

Програмну реалізацію описаної вище методики вибору виконано у програмі Excel пакету офісних програм Microsoft Office 2010.

### Висновки

Таким чином, математична модель, що запропонована автором, може бути використана в системі підтримки прийняття рішень при виборі БпАК для потреб Збройних Сил України.

### Список літератури

1. Стешенко П.М. Удосконалена математична модель для оцінювання ефективності бойового застосування розвідувальних безпілотних авіаційних комплексів / П.М. Стешенко // Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ України. 2017. – № 2(65).
2. Стешенко П.М. Математична модель для оцінювання витрат фінансових ресурсів, пов'язаних з оснащенням Збройних Сил безпілотними авіаційними комплексами

/ Є.Ю. Іленко, П.М. Стешенко // Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУ. – Х.: ХНУПС. – 2016. – № 3(24). – С. 70-73.

3. Мавренков О.Є. Оцінювання реалізованості програмних заходів з технічного оснащення авіації Збройних Сил України / О.Є. Мавренков // Зб. наук. праць НУОУ "Труди університету". – К., 2016. – № 1(134). – С. 198-204.

4. Стешенко П.М. Методичний підхід до оцінювання реалізованості закупівельних проектів з придбання зразків озброєння та військової техніки / П.М. Стешенко // Зб. наук. праць НУОУ "Труди університету". – К., 2016. – № 5(138). – С. 115-121.

5. Большие технические системы: проектирование и управление: моногр. / Л.М. Артюшин, Ю.К. Зиятдинов, И.А. Попов, А.В. Харченко; под ред. И.А. Попова. – Х.: Издательство "Факт", 1997. – 400 с.

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

7. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: учебн. для вузов / В.П. Тарасик. – Мн.: ДизайнПРО, 2004. – 604 с.

Надійшла до редколегії 21.04.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Є.О. Українець, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### МЕТОДИКА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА РАЗВЕДЫВАТЕЛЬНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ

Е.Ю. Иленко, П.Н. Стешенко

В статье представлены результаты разработки комплексной методики выбора рациональных образцов разведывательных беспилотных авиационных комплексов с учётом эффективности их применения, расход ресурсов и рисков реализации закупочных проектов.

**Ключевые слова:** беспилотный авиационный комплекс, беспилотный летательный аппарат, эффективность боевого применения, удельная стоимость, реализуемость, выбор рационального образца.

### METHOD MULTICRITERION CHOICE RECONNAISSANCE UNMANNED AVIATION SYSTEMS FOR THE ARMED FORCES UKRAINE

Ye. Ilenko, P. Steshenko

The results of the development of complex methods of rational choice samples reconnaissance unmanned aircraft systems, taking into account the effectiveness of their application resource costs and risks of implementing procurement projects.

**Keywords:** unmanned aircraft complex drones, combat use efficiency, unit cost, feasibility, the rational choice model.