

УДК 623.454.36

<https://doi.org/10.33099/2304-2745/2024-3-82/104-112>

Мосов С. П., доктор військових наук, професор¹ (0000-0003-0833-3187)

Урський О. С., доктор технічних наук² (0000-0001-8118-9869)

Присяжний В. І., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник³
(0000-0001-7825-9037)

¹ – Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Київ;

² – Прогрестех-Україна, Київ;

³ – Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Київ

Принципи формування тактико-технічних вимог до безпілотних авіаційних комплексів і методичний підхід до вибору найкращого варіанту

Резюме. У статті досліджено актуальні питання, пов'язані з формуванням тактико-технічних вимог до безпілотних авіаційних комплексів. За цим напрямом дослідження систематизовано склад показників для вибору безпілотного авіаційного комплексу з числа декількох: тривалість польотів, корисне навантаження, вага та розміри, надійність, мобільність, спосіб запуску та приземлення, вартість, ремонтпридатність, програмне забезпечення, технологічна та ергономічна зручність, умови експлуатації, безпека експлуатанта.

Ключові слова: безпілотний авіаційний комплекс; безпілотний літальний апарат; тактико-технічні вимоги; показники, принципи.

Широкомасштабна війна в Україні змінила ставлення до безпілотної авіації і перетворила безпілотні літальні апарати (БПЛА) на засоби першої потреби, використання яких кардинально вплинуло на тактику дій військ (сил) на полі бою. Підтвердженням цьому є Указ Президента України щодо створення у структурі Збройних Сил України Сил безпілотних систем як окремого роду сил [1].

Постановка проблеми. Оснащення ЗС України, а також інших державних структур моно- і поліфункціональними зразками безпілотної авіації різного призначення потребує обґрунтування принципів формування тактико-технічних вимог (ТТВ) і рекомендацій щодо підходу до вибору безпілотних авіаційних комплексів (БПАК). Для цього необхідно також визначити та систематизувати показники такого вибору, з урахуванням яких слід формувати ТТВ до БПАК, у складі яких може бути не лише один, а декілька БПЛА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями, пов'язаними із дослідженнями щодо формування ТТВ до БПАК (БПЛА) займаються українські та зарубіжні вчені і фахівці:

Довбня В.В. та ін. (підхід до визначення оперативних, тактичних і технічних вимог до БПЛА) [8];

Глушкевич О.Л. та ін. (підхід до формування оперативно-тактичних вимог до БПЛА) [7];

європейські фахівці (викладено підхід європейських країн до формування ТТВ) [11];

МакДермотт Р. (огляд підходів до формування технічних вимог до БПАК) [10];

Мосов С.П. та ін. (підхід до формування ТТВ до розвідувальних БПАК) [4, 6];

Торунь Е. (підхід до формування ТТВ на основі досвіду бойових дій) [9] та ін.

Проведений аналіз літературних джерел відкритого друку показав схожість і відмінність різних підходів до формування ТТВ. Слід також звернути увагу, що ТТВ залежатимуть від того, який вид БПАК обирають (купають): мультироторний, літаковий чи гібридний.

Мета статті – обґрунтувати принципи формування тактико-технічних вимог до безпілотних авіаційних комплексів і рекомендувати методичний підхід до вибору найкращого варіанту.

Виклад основного матеріалу. Під час вибору найбільш підходящого варіанту БПАК з числа запропонованих необхідно спочатку визначити, які функціональні завдання необхідно вирішувати із застосуванням БПЛА [2-4] і, отже, на які показники при цьому слід звернути увагу.

Одним із ключових показників БПЛА вважається *тривалість його польоту* (рис. 1). Від нього залежить дальність польоту (радіус дії) безпілотної авіації, а також ефективність виконання поставленого завдання. Часто має місце ситуація, коли для одного класу БПЛА вказується однакова дальність польоту. При цьому важливо зрозуміти, яким чином було зроблено цю оцінку.



Рис. 1. Показники для вибору БпАК

Зазвичай вказується максимальний час польоту за найсприятливіших умов (безвітря, температура +20°C) [5].

Тому перед купівлею (придбанням) рекомендується запитувати у виробника демонстрацію БпЛА для перевірки реального часу польоту. Час польоту слід враховувати разом із вантажопідйомністю та злітною масою. Вантажопідйомність впливає на можливість встановлення різного корисного навантаження та додаткового обладнання. Вага апарата впливає на стійкість безпілотної в повітрі, тож що він важчий, то стабільнішою є його траєкторія та вищою якість зображення. Тривалість польоту пов'язана з двигуном БпЛА: електродвигун і двигун внутрішнього згорання.

Наступним важливим показником є *корисне навантаження* та його склад. БпЛА може бути оснащений корисним навантаженням різних типів: фото- або відеокамерою, спектральною камерою, тепловізором, магнітометром, газоаналізатором, лазерним сканером, геолокатором, ретрансляційною апаратурою, засобами ураження наземних об'єктів противника та іншими засобами. Необхідно обирати тип корисного навантаження і варіант БпЛА залежно від функціональних завдань і того, які дані необхідно отримати або які дії здійснити (повітряна розвідка; нанесення ударів по техніці та особовому складу противника; перевезення вантажів тощо).

Вага та розміри також впливають як на вибір БпЛА (БпАК), так і на його вартість. Так, наприклад, БпЛА DJI Matrice 300T і БпЛА DJI Matrice 30T виконують аналогічні завдання, проте розміри, вага і вартість БпАК

DJI Matrix 30T є нижчими (майже у 2 рази) за БпАК DJI Matrix 300T.

Дуже важливо, щоб БпЛА був *надійним*, що, у першу чергу, обумовлюється використовуваними матеріалами. Вони мають бути досить міцними і легкими, щоб БпЛА витримував навантаження в процесі польоту і, що важливо, під час приземлення. Композитні матеріали забезпечують необхідну жорсткість і міцність безпілотної, однак вони можуть бути недостатньо гнучкими та міцними, щоб витримувати значні ударні навантаження. Полімерні матеріали здатні витримувати удари, не руйнуються під час деформації та зберігають форму, проте вони не здатні забезпечити необхідну жорсткість конструкції. У зв'язку з цим, найкращим рішенням є комбіноване використання полімерів і композиційних матеріалів.

Значущим показником є *мобільність* БпАК, що досягається за рахунок таких рішень, як складна рама або модульна конструкція БпЛА. Найзручнішими можна, наприклад, вважати безпілотної, які можна помістити разом з іншими складовими БпАК 1 класу в міцний кейс і перевозити в багажнику будь-якого автомобіля (кунгу вантажного автомобіля).

Важливу роль відіграє *спосіб запуску і приземлення* безпілотної. БпЛА літакового типу можуть запускатися двома способами – з рук та катапульті і два способи приземлення – з парашутом і на корпус. Старт з катапульті вважається найбезпечнішим для фахівця, який здійснює цю дію, а приземлення з парашутом – найбезпечнішим для БпЛА. У БпЛА мультироторного типу основною особливістю є вертикальний зліт і посадка. Це дає їм змогу

злітати і приземлятися на будь-яку відносно рівну поверхню.

При виборі БпЛА слід враховувати такий показник, як *безпека експлуатанта*, а також людей і майна, над якими виконуються польоти. Рекомендується надавати перевагу БпЛА з інтелектуальним управлінням його застосуванням і вбудованими функціями безпеки. Ці функції включають у себе: сповіщення про рівень заряду батареї і якість радіозв'язку; автоматичну перевірку здійсненості польотного завдання; автоматичне повернення у вихідну точку при втраті зв'язку або критично низькому заряді батареї та ін. Ще однією важливою функцією вважається можливість встановлення максимальної відстані від початкової точки, що дає змогу створити віртуальний периметр, який БпЛА не зможе покинути. Це забезпечить безпеку майна і людей на територіях, прилеглих до об'єкта, над яким літає безпілотник. Ці засоби безпеки суттєво знижують ризики, пов'язані з експлуатацією БпЛА.

Під час вибору БпАК слід враховувати *технологічну* та *ергономічну* зручність пульта управління польотом (ПУ) для БпЛА мультироторного типу або наземної станції управління (НСУ) польотом для БпЛА літакового типу. ПУ (НСУ) повинні надавати зручні інструменти для створення польотного завдання. Траєкторія польоту, наприклад, для аерофотозйомки повинна формуватися автоматично для заданої оператором (пілотом-оператором) зони зйомки. Крім цього, мають бути реалізовані можливості зі встановлення бажаної просторової розрізненості, відсотка перекриття зображення, швидкості польоту і точки приземлення. Якщо НСУ не матиме цього функціоналу, якісно виконати завдання з аерофотозйомки (повітряна розвідка місцевості та противника, моніторинг стану місцевості, виявлення НС тощо) буде практично неможливо. Тим часом ПУ (НСУ) необхідні не тільки для створення польотного завдання, а й для управління БпЛА в польоті. За допомогою них зовнішній пілот (пілот-оператор) може контролювати виконання польотного завдання, програмувати політ по заданих точках або управляти застосуванням корисного навантаження, а за необхідності – скасувати політ. Крім того, з БпЛА при виконанні завдань повітряної розвідки (спостереження, моніторингу) зображення з камер повинні транслюватися на екран ПУ (НСУ) в масштабі реального часу.

Програмне забезпечення для обробки

даних має важливе значення для користувача. Існують різні програмні продукти для запису інформації на борту БпЛА, і всі вони забезпечують приблизно однаковий набір вихідних даних. Однак швидкість обробки і якість результатів можуть істотно відрізнятись.

Рекомендується використовувати штатне програмне забезпечення. Ідеальним варіантом вважається варіант, коли БпЛА і програмне забезпечення для фотограмметричного оброблення від самого початку створені для спільної роботи та інтегровані в єдиний робочий процес.

Ремонтпридатність, як показник, також слід враховувати при виборі БпАК. У зв'язку з цим слід аналізувати витрати на експлуатацію та технічне обслуговування як БпЛА, так і БпАК загалом. З цього погляду вигідніше купувати модульні агрегати, оскільки замінити або відремонтувати окрему деталь можна легко і недорого. У разі суцільнокорпусних рішень доведеться відправляти в ремонт весь БпЛА, що неодмінно призведе до додаткових ресурсних витрат (матеріальних, часових, фінансових). Також слід звертати увагу на наявність запасних частин у складі БпАК і термін служби комплектуючих БпЛА і БпАК загалом.

Вартість є важливим показником при виборі БпАК. Звісно, БпАК здаються привабливішими, коли ціна невисока, однак не рекомендується розглядати вартість БпАК окремо від перерахованих вище показників.

Знання функцій і функціональних завдань для безпілотної авіації, а також визначення показників для вибору БпЛА (БпАК) дають змогу перейти до визначення принципів формування ТТВ до БпАК.

Одним з основних принципів формування ТТВ є *принцип цілеспрямованості* (рис. 2). Реалізація цього принципу спрямована на формування низки вимог до БпАК, виконання яких дасть змогу обрати (закупити, розробити) БпАК, застосування якого забезпечить виконання всього комплексу функціональних завдань, покладених на комплекс.

Врахування *принципу надійності* під час формування вимог дасть змогу забезпечити здатність БпАК ефективно виконувати функціональні завдання протягом заданого періоду часу.

Принцип ефективності пов'язаний із забезпеченням досягнення максимального ефекту від застосування (експлуатації) БпЛА за мінімізації витрат на його придбання та функціонування.



Рис. 2. Принципи формування ТТВ

Важливим принципом під час формування вимог є *принцип системності*, суть якого полягає в необхідності розгляду всіх складових БпАК у взаємозв'язку функціональними завданнями, а також з урахуванням наявних взаємозв'язків між показниками для вибору БпАК, що дасть змогу розглядати БпАК як цілісну одиницю військової техніки.

Суть ще одного принципу – *принципу інтегрованості* – полягає в необхідності забезпечення сумісності всіх складових, що входять до БпАК (БпЛА; ПУ (ПСУ); радіоканали управління БпЛА та отримання інформації від БпЛА тощо).

Ремонтпридатність БпАК вимагає реалізації *принципу декомпозиції* під час розроблення вимог, що зумовлює декомпозицію БпАК на складові (частини), модулі, окремі елементи обладнання БпАК (БпЛА), які можна замінити під час проведення ремонтних і ремонтно-відновлювальних робіт, створенні необхідних умов для ефективнішого аналізу стану БпАК, що особливо важливо в разі виникнення відмов бортового обладнання.

Необхідність застосування типових уніфікованих і стандартизованих елементів у складі БпАК обумовлює врахування *принципу стандартизації та уніфікації*. Це дасть змогу замінювати модулі, окремі елементи обладнання БпАК (БпЛА), виготовлені іншими виробниками, але сумісні зі складовими обладнання БпЛА, які можна замінити.

Реалізація *принципу достатності* під час формування ТТВ спрямована на вибір (створення, закупівлю) такої конфігурації

БпАК, яка буде достатньою для виконання функціональних завдань, покладених на нього.

Існують різні підходи до формування ТТВ до БпАК. Так, у [6] автори на прикладі БпАК, призначеного для виконання завдань повітряної розвідки (спостереження), дослідили питання вибору БпАК і запропонували підхід до формування ТТВ, який базується на врахуванні: функціональних завдань повітряної розвідки; переліку об'єктів розвідки (спостереження) – вимог до їхнього виявлення та рівня розпізнавання (тип, клас, вид); погодних умов – пори року, часу доби; характеристик місцевості; способів і засобів маскування об'єктів розвідки (спостереження), а також ступеня впливу засобів радіоелектронного придушення та радіоелектронної боротьби з боку противника.

Схожий підхід викладено у [7]. Запропонований авторським колективом методичний підхід базується на принципах комплексності, прогнозування, універсальності та враховує функціональні завдання.

Сукупність оперативних, тактичних та технічних вимог до БпЛА викладено у [8]. До їхнього складу увійшли: функціональні завдання; радіус дії; маневреність; дальність польоту; оперативність дій; експлуатаційний ресурс; конструктивно-силове та об'ємно-масове компонування тощо.

Торунь Е. запропонував формувати ТТВ до БпЛА на основі вивчення досвіду бойових дій [9].

МакДермотт Р. зробив огляд підходів до формування технічних вимог до БпАК на прикладі безпілотної авіації РФ [10].

У праці [11] викладено підхід європейських країн до формування ТТВ, що базується на врахуванні оперативних сценаріїв, функціональних завдань, цінової політики та корисного навантаження.

Проведений аналіз показує схожість і відмінність різних підходів до формування ТТВ. Слід також звернути увагу, що ТТВ залежатимуть від того, який вид БпАК обирають (купують): мультироторний, літаковий чи гібридний. Так, наприклад, у мультироторного БпАК наземної станції управління немає, оскільки зовнішній пілот управляє польотом БпЛА за допомогою пульта, а дальність його польоту обмежується зарядом електричного акумулятора.

Виходячи з аналізу низки профільних українських і зарубіжних джерел, пропонується при формуванні ТТВ враховувати: функціональні завдання; тривалість польоту БпЛА; мобільність БпАК; кількість транспортних одиниць наземної частини БпАК; спосіб запуску і посадки БпЛА; цільове навантаження БпЛА; технічне забезпечення БпАК; радіоелектронний захист БпАК (БпЛА); погодні умови; пори року; час доби; характеристики місцевості; живучість і стійкість БпАК до зовнішніх чинників, що впливають; надійність; ергономічність; ремонтпридатність; захист інформації, що циркулює в БпАК; стандартизацію та уніфікацію; метрологічне, програмне, інформаційне та топогеодезичне забезпечення БпАК; навчально-тренувальні засоби; вартість БпАК.

Розглянемо загальний підхід до формування ТТВ на прикладі розвідувального БпАК. ТТВ до БпАК при їх розробленні або закупівлі в інтересах виконання завдань повітряної розвідки і спостереження мають виходити з формалізованого списку функціональних завдань [2-4, 6, 8, 12]. Склад корисного навантаження (RGB-камера; тепловізор; лідар; мультиспектральна камера; георадар тощо) обумовлюється, як правило, сукупністю об'єктів повітряної розвідки і спостереження, вимогами до їхнього виявлення і рівня розпізнавання (вид, клас, тип), погодними умовами, порою року, часом доби, характеристиками місцевості, способами та засобами маскуванню цих об'єктів, а також ступенем впливу засобів РЕБ та РЕП з боку противника у процесі виконання завдань розвідки і спостереження.

При цьому слід звернути увагу на те, що перевагу слід віддавати БпАК, що випускаються у своїй країні на заводській

основі. Підприємство повинно забезпечувати запасними частинами, виконувати заводський ремонт із заміною деталей та обладнання, а також ремонт і заміну двигуна, корпусу та бортового обладнання БпЛА.

Аналіз різних варіантів БпАК, призначених для виконання схожих завдань, показує, що актуальним залишається питання вибору БпАК із числа декількох варіантів БпАК однакового призначення з урахуванням ТТВ.

Існують різні методичні підходи до розв'язання задачі вибору з числа кількох парето-оптимальних варіантів однакового функціонального призначення. Так, у праці [13] запропоновано для розв'язання задачі вибору з урахуванням багатокритеріальності використовувати стандартну методологію нечітких множин.

Одним із відомих експертних методів, що застосовують для вибору в умовах багатокритеріальності, вважається метод Дельфі, який являє собою метод встановлення експертних суджень на умовах анонімності експертів та їхнього фізичного поділу, а також наявності керованого зворотного зв'язку [14]. Метою підтримання анонімності та фізичного поділу є уникнення деяких потенційних "пасток" групового ухвалення рішення, а метою зворотного зв'язку – надання можливості кожному з експертів ознайомитися з усередненою думкою інших експертів.

За всієї своєї позитивності, метод має низку недоліків. До одного з них слід віднести те, що фізичний поділ експертів на практиці унеможливує появу нових підходів до розв'язання поставленого завдання, що можуть бути вироблені та перевірені в процесі дискусій. Інший недолік пов'язаний із способом формування анкет, за якими здійснюється опитування експертів. Якщо анкети побудовані недостатньо об'єктивно, то і висновки експертів, які відповідають на запитання, будуть також не недостатньо об'єктивними внаслідок того, що висновки фактично обумовлюються сформульованими питаннями.

Іншим методом оцінювання та відбору є метод ВПСП (Strategic Assumption Surfacing and Testing), в основу якого покладено попереднє "шліфування" припущень (усунення суперечливості), які надалі використовують для розв'язання завдань, та їх ранжування [15]. Метод добре пристосований до аналізу слабо структурованих проблемних завдань, у яких вироблення рішення

спирається на припущення, які гостро конфліктують час від часу. Однак він потребує такого арбітра, який добре володіє мистецтвом міжособистісного діалогу і досвідчений у теорії групової динаміки. В іншому разі застосування методу ВПСП може бути приречене на невдачу. Більш того, використання методу вимагає залучення значної кількості досвідчених експертів.

Ще одним відомим експертним методом, що регулярно використовують при оцінюванні та виборі в умовах багатокритеріальності, є метод аналізу ієрархії (МАІ) [16]. Це підтверджується результатами, наведеними в [17-19].

Розглянемо можливість його застосування для вибору БпАК із сукупності БпАК, що потрапили в межі парето-оптимальності. Суть методу полягає в декомпозиції завдання оцінювання та вибору БпАК на прості складові, а потім – у подальшому опрацюванні методами матричної алгебри послідовності суджень експертів, що здійснюють оцінювання під час попарних порівнянь, починаючи від початкових елементів і переходячи від рівня до рівня, доки не буде отримано кінцевий результат розв'язання завдання оцінювання та вибору БпАК [16].

На відміну від методу Дельфі в МАІ підтримується групова взаємодія та дискусії. Таким чином, у процесі дослідження припущень, покладених в основу індивідуальних рішень, з'являються нові важливі знання. Доцільність такого підходу підтверджується і досвідом проведення ділових ігор під керівництвом відомого радянського філософа і методолога Г.П. Щедровицького [18]. У разі розбіжності суджень МАІ не накладає штучного консенсусу, бо в ньому не вилучають, а враховують думки, що випадають із загального руслу під час обчислень (значення передбачуваної величини неузгодженості).

Порівняння МАІ з ВПСП дає змогу зробити висновок про їхню аналогічність на етапі структурування завдання, що підлягає розв'язанню. При цьому не потрібно мати добре підготовленого координатора і реальною є відсутність можливості зриву розв'язання завдання внаслідок зміни психологічної обстановки в середовищі експертів.

Таким чином, із проведеного аналізу випливає висновок про те, що МАІ є найприйнятнішим експертним системним методом, який доцільно використовувати для

розроблення методики оцінювання та вибору БпАК. Його важливою особливістю вважається можливість одночасного використання як кількісних, так і якісних показників.

Першим кроком МАІ є декомпозиція завдання вибору і представлення її у вигляді ієрархії [16]. На першому (вищому) рівні знаходиться загальна мета: z – найкращий БпАК з існуючих варіантів. На другому рівні – показники $K=\{k_i\}$, що уточнюють мету: функціональні завдання; тривалість польоту БпЛА; мобільність БпАК; кількість транспортних одиниць наземної частини БпАК; спосіб запуску й посадки БпЛА; цільове навантаження БпЛА; технічне забезпечення БпАК; радіоелектронний захист БпАК (БпЛА); погодні умови (пори року, час доби); характеристики місцевості; живучість і стійкість БпАК до зовнішніх чинників впливу; надійність; ергономічність; ремонтпридатність; захист інформації, що циркулює у БпАК; стандартизація та уніфікація; метеорологічне, програмне, інформаційне та топогеодезичне забезпечення БпАК; навчально-тренувальні засоби; вартість БпАК. На третьому (нижньому) рівні розташовується низка варіантів БпАК $A=\{d_j\}$, що мають бути порівняні й оцінені.

На другому кроці необхідно встановити локальні пріоритети показників k_j шляхом складання квадратних матриць та попарних порівнянь і проведення експертних порівнянь із використанням шкали оцінки відносної важливості w . Квадратні матриці є обернено симетричними, тобто елемент матриці $b_{ji}=w_j/w_i=1/b_{ij}$. Подібні матриці мають бути побудовані для парних порівнянь кожного d_j -го варіанта БпАК на третьому рівні щодо показників k_i другого рівня.

Із груп матриць попарних порівнянь формують набори локальних пріоритетів, які вказують на відносний вплив множини елементів на елемент рівня, що примикає зверху. Процес формування локальних пріоритетів ґрунтується на обчисленні власних векторів для кожної матриці та нормалізації результату до одиниці [16]:

$$u_i = \frac{\sqrt[s]{\prod_{j=1}^s \frac{w_i}{w_j}}}{\sum_{i=1}^s \sqrt[s]{\prod_{j=1}^s \frac{w_i}{w_j}}}, \quad (1)$$

де u_i – локальний пріоритет i -го елемента стовпчика матриці попарних порівнянь;
 s – кількість елементів матриці попарних порівнянь у стовпчику.

У процесі попарних порівнянь для виявлення та усунення можливих порушень транзитивної узгодженості має визначатися величина індексу узгодженості r для розрахунку відношення узгодженості χ :

$$r = \frac{\lambda_{\max} - s}{s - 1} \quad (2)$$

$$\chi = \frac{r}{r_0} 100\% \quad (3)$$

де r_0 – індекс випадкової узгодженості [19]:

$$r_0 = 1,67 \cdot e^{-\frac{1,0808}{s}}$$

λ_{\max} – максимальне власне значення матриці:

$$(l_{a_1}, l_{a_2}, \dots, l_{a_m}) = (u_{k_1}, u_{k_2}, \dots, u_{k_n}) \begin{pmatrix} u_{k_1 a_1} & u_{k_1 a_2} & \dots & u_{k_1 a_m} \\ u_{k_2 a_1} & u_{k_2 a_2} & \dots & u_{k_2 a_m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{k_n a_1} & u_{k_n a_2} & \dots & u_{k_n a_m} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Процедура синтезу локальних пріоритетів здійснюється до найнижчого рівня, у результаті чого визначаються глобальні пріоритети l_j кожного d_j варіанта БпАК. Ранжування отриманих пріоритетів дає змогу визначити БпАК із найбільшим значенням пріоритету, який і буде найприйнятнішим із числа оцінюваних варіантів БпАК. Блок-схему алгоритму синтезу пріоритетів наведено на рис. 3.

Таким чином, використання запропонованого методичного підходу дає змогу:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^s u_i \sum_{j=1}^s \frac{w_j}{w_i}. \quad (4)$$

Величина розбіжності не повинна перевищувати 10-12%. В іншому випадку необхідно додатково перевірити судження експертів, доки величина не увійде в допустимі межі [16].

У разі, коли експерти не мають достатнього досвіду проведення суджень або достатнього рівня професійної підготовки для здійснення процесу встановлення локальних пріоритетів, слід попередньо здійснити ранжування критеріїв.

Передостаннім кроком у визначенні z є здійснення принципу синтезу. Пріоритети синтезуються, починаючи з другого рівня вниз. Локальні пріоритети $u_{k_i d_j}$

перемножуються на пріоритет u_{k_i} відповідного показника на рівні, що знаходиться вище, і підсумовуються за кожним елементом відповідно до критеріїв, на які впливає цей елемент:

по-перше, не тільки об'єктивно оцінювати БпАК із низки представлених для порівняння варіантів, а й об'єктивізувати вибір БпАК;

по-друге, необхідність забезпечення транзитивної узгодженості дає змогу фіксувати спроби штучного завищення показників для одного з варіантів БпАК, оскільки автоматично погіршаться показники іншого варіанту БпАК і відношення узгодженості χ вийде за припустимі межі, тобто в цьому випадку зберігається принцип неупередженості та справедливості.

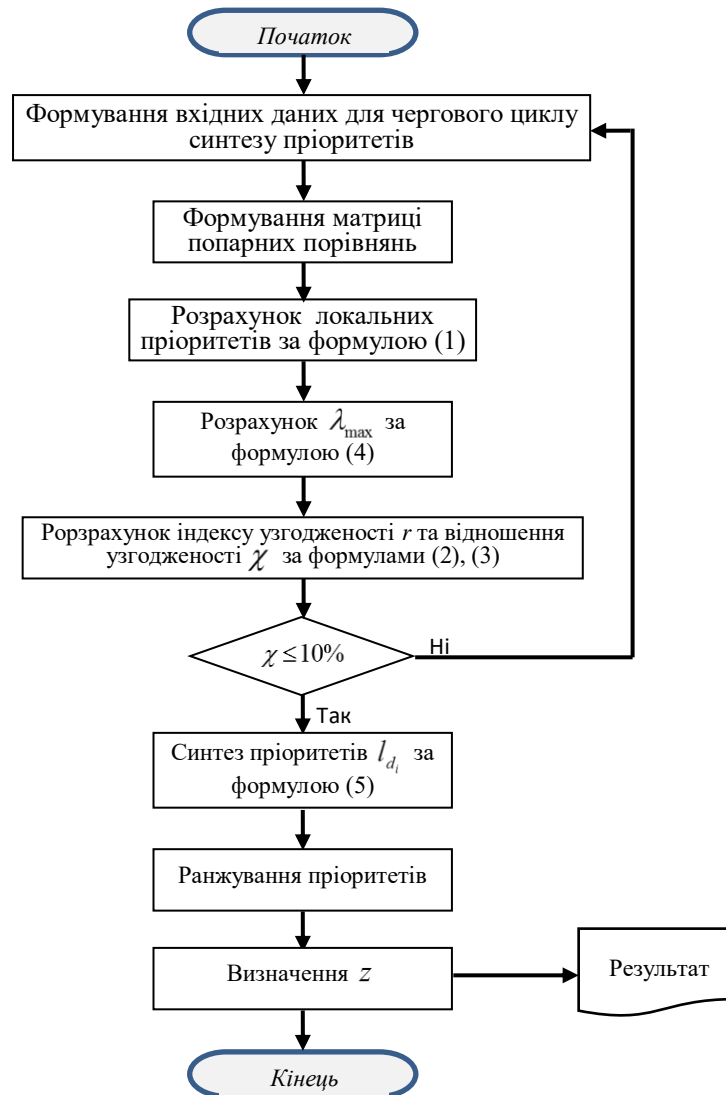


Рис. 3. Блок-схема алгоритму синтезу пріоритетів

Висновки. У результаті проведених досліджень до складу показників для вибору БпАК з числа декількох запропоновано такі: тривалість польотів, корисне навантаження, вага та розміри, надійність, мобільність, спосіб запуску та приземлення, вартість, ремонтпридатність, програмне забезпечення, технологічна та ергономічна зручність, умови експлуатації, безпека експлуатанта.

Обґрунтовано вісім принципів формування ТТВ до БпАК: принцип цілеспрямованості, принцип надійності, принцип ефективності, принцип інтегрованості, принцип системності, принцип декомпозиції, принцип достатності, принцип стандартизації та уніфікації.

Запропоновано методичний підхід до вибору БпАК з числа декількох на основі МАІ, що дає змогу об'єктивно оцінювати БпАК із низки представлених варіантів, а також об'єктивізувати вибір БпАК, уникаючи

при цьому спроб штучного завищення показників для одного з варіантів БпАК.

Напрямки подальших досліджень. Подальші дослідження мають відбуватися за такими актуальними напрямами: обґрунтування критеріальних значень показників для проведення вибору БпАК з числа декількох; розробка методичного апарату для обґрунтування оперативно-тактичних вимог до БпАК (БпЛА) тощо.

Подяка. Дослідження проведені в межах гранту № AP14869765.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про нарощування спроможностей сил оборони: Указ Президента України від 06.02.2024 №51/2024. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/512024-49625>.
2. Dougherty M. Drones: An Illustrated Guide to the Unmanned Aircraft That are Filling Our Skies. Amber Books Limited, 2015. 224 p.
3. Методичні рекомендації «Командиру підрозділу по застосуванню БпАК тактичного рівня», 2018. 70 с.
4. Безпілотна авіація у військовій справі: кол. монографія / С. П. Мосов, М. В. Погорельський, С. М.

- Салій, О. В. Сєлюков, А. Л. Фещенко; за ред. проф. С. П. Мосова. Київ: Інтерсервіс, 2019. 324 с.
5. How to choose UAV. URL: <https://www.deepl.com/translator#ru/en/%D0%9A...20UAVs> (дата звернення 10.01.2024).
 6. Мосов С. П., Колесников В. А. Вимоги до вибору безпілотних авіаційних комплексів для виконання завдань розвідки та спостереження. *Зб. наук. праць ЦВСД НУОУ*. 2016. Вип. №1(56). С.24-28.
 7. Колесніков В. О., Глушкевич О. Л., Федянович Д. Л. Особливості та проблемні питання визначення оперативного-тактичних вимог до БПЛА з урахуванням сучасних принципів ведення воєнних (бойових) дій. URL: <http://znp-cvds.nuou.org.ua/article/view/126033/120719> (дата звернення 10.01.2024).
 8. Довбня В. В., Сутюшев Т. А., Миргород Ю. І. Визначення оперативних, тактичних та технічних вимог до безпілотного літального апарату, як засобу розвідувального забезпечення вирішення службово-бойових завдань внутрішніх військ. *Зб. наук. праць ХУПС*. 2009. Вип. №1(19). С. 6-10.
 9. Torun E. UAV Requirements and Design Consideration. URL: https://www.researchgate.net/publication/235040091_UAV_Requirements_and_Design_Consideration (дата звернення 10.01.2024).
 10. DermottMc R. Russia's UAVs and UCAVs: ISR and Future Strike Capabilities. URL: <https://jamestown.org/program/russias-uavs-and-ucavs-isr-and-future-strike-capabilities> (дата звернення 10.01.2024).
 11. European UAV/UAS Requirements. URL: <https://euro-sd.com/2020/07/articles/18205/european-uav-uas-requirements> (дата звернення 10.01.2024).
 12. Мосов С.П. Системні вимоги щодо створення (закупівлі) і впровадження безпілотних авіаційних комплексів для виконання завдань військового та подвійного призначення. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ: тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції (Львів, 18-20 травня 2016 р.). Львів: Вид-во НАСВ, 2016. С.5-6.
 13. Ardil C. Unmanned Aerial Vehicle Selection Using Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Analysis. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*. 2023. №17(8). P. 303-311.
 14. Pill J. The Delphi Metod: Substance, Context, a Critique and Annotated Bibliography. *Socio-economic Planning*. 1975. № 5. P.57-71.
 15. Mitroff I., Sagasti F. Epistemology as General Systems Theory. *Philosophy of the Social Sciences*. 1973. № 3. P.117-134.
 16. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий; пер. с англ. Москва: Радио и связь, 1993. 320 с.
 17. Santos C. B., Matias M. S., Von C. R., Júnior A. K., Soares A. S., Santos M., Ramirez L. A. Unmanned Aircraft Selection for Electronic Warfare: A Combined Multicriteria Decision Analysis Approach. URL: https://www.researchgate.net/publication/374641840_Unmanned_Aircraft_Selection_for_Electronic_Warfare_A_Combined_Multicriteria_Design_Analysis_Approach (дата звернення 10.01.2024).
 18. Hamurcu M., Eren T. Selection of Unmanned Aerial Vehicles by Using Multicriteria Decision-Making for Defence. URL: <https://www.hindawi.com/journals/jmath/2020/4308756> (дата звернення 10.01.2024).
 19. Мосов С.П., Абраїмов Д.К. Застосування методу аналізу ієрархій для оцінки та відбору командного складу в прикордонній службі КНБ Республіки Казахстан. *Труди університету (НУОУ)*. 2010. № 3(96). С.59-64.
 20. Щедровицкий Г. П. Избранные труды. Москва: Шк. Культ. Полит., 1995. 800 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії 01.03.2024

Principles of formulating tactical and technical requirements for unmanned aircraft systems and methodological approach to choosing the best option

Annotation

The article studies major aspects of formulating tactical and technical requirements for unmanned aircraft systems. A goal of the article is to substantiate the principles of formulating tactical and technical requirements for unmanned aircraft systems, and to recommend a methodological approach to choosing the best option. The article systematizes a range of characteristics to be taken into account when selecting unmanned aircraft systems, including flight time, payload, weight and dimensions, reliability, mobility, launch and landing methods, cost, maintainability, software, technological and ergonomic aspects, operating conditions, and operator safety. On the basis on the characteristics and with functional tasks in view, it substantiates the principles for formulating tactical and technical requirements for unmanned aircraft systems. They are as follows: the principle of purposefulness, the principle of reliability, the principle of efficiency, the principle of integration, the principle of consistency, the principle of decomposition, the principle of sufficiency, and the principle of standardization and unification. Further, it analyzes methodological approaches that may be applied to choose an unmanned aircraft system from among several options. The article proposes to apply the method of hierarchy analysis that makes it possible to objectively evaluate each of unmanned aircraft systems available as well as objectify choose an unmanned aircraft system from among a range of options without inflating characteristics of any of the options being evaluated. The directions for further research the article proposes are as follows: justifying criterion values of the characteristics to be taken into account when selecting an unmanned aircraft system from among several options; developing methods to substantiate operational and tactical requirements for unmanned aircraft systems (unmanned aerial vehicles), etc.

Key words: unmanned aircraft system; unmanned aerial vehicle; tactical and technical requirements; characteristics; principles.