

## ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ПРИ СПОСТЕРЕЖЕННІ ТА ПАТРУЛЮВАННІ ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА

Суворова Н.,  
Пронь С. В.

Україна, Національний авіаційний університет

**Abstract.** The article aims at future trends in usage of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) at supervision and patrolling of forestry. The main goal of the analysis is to determine the types of aviation works, in which the usage of UAVs would be the most beneficial. The main requirements and restrictions of usage of the aircraft at supervision and patrolling of forestry were used as a basis for determining the types of operations, in which the usage of UAVs will be most rational and effective. The effectiveness evaluation of usage UAVs at supervision and patrolling of forestry was based on the developed method, involving evaluation of the following factors such as advantages of usage of manned aircraft. After evaluation of the mentioned aspects above the safety, operational productivity and ecological indicators were evaluated.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, supervision, patrolling, aviation works, effectiveness, advantages of usage, forestry.

**Вступ.** На сьогоднішній день використання безпілотних повітряних суден [1] у цивільному секторі послуг практично обмежується окремими випадками локального застосування в інтересах рішення поточних виробничих або господарських завдань, переважно в експериментальному порядку.

Оскільки ринок БПС є відносно новою ринковою нішею в галузях економіки, рішення про уніфікацію доводиться ухвалювати на самих ранніх стадіях життєвого циклу продукції – на етапі сегментації ринку авіаційних робіт і послуг та вибору цільової групи споживачів.

**Виклад основного матеріалу.** Найважливішим завданням при формуванні продуктової стратегії авіабудівних підприємств є раціональне визначення типорозмірного ряду перспективних виробів літальних апаратів (ЛА). Найвища ефективність і конкурентоспроможність продукції в кожному сегменті ринку авіатехніки може бути досягнута, якщо конкретна модель призначена саме для даного сегменту, тобто, при спеціалізації виробів. З іншого боку, прагнення виробника скоротити собівартість продукції й збільшити обсяги її реалізації сприяє уніфікації літальних апаратів, призначених для різних сегментів ринку. Прагнення задовольнити цим суперечливим вимогам приводить до проблеми формування оптимального типорозмірного ряду перспективних ЛА [2].

Розробка нової авіаційної техніки для виконання конкретного виду авіаційних робіт являє собою процес узгодження вимог замовника, а також можливостей виробника нових ЛА. У цьому процесі ЛА повинен розглядатися як складна авіаційна система – авіаційний комплекс, при розробці якого потрібно застосовувати системний підхід [3].

Використовуючи методологію системного аналізу й теорію ефективності авіаційних комплексів [4, 5], можна формалізувати класифікацію різних типів даних авіаційних робіт залежно від фізичних принципів їх виконання та особливостей взаємодії пілотованого повітряного судна (ППС) з об'єктом виконання авіаційних робіт.

Для цього необхідно ввести наступні позначення:

$S$  – тип авіаційної роботи;

$\vec{r} = (i, j, k)$  – структурний вектор типу авіаційної роботи;

$\vec{v}_r$  – параметричний вектор типу авіаційної роботи, який має індекс  $r$  тому що, параметри роботи мають сенс тільки у випадку, якщо структура поставленого завдання є заданою й визначеною.

Структурний вектор типу авіаційної роботи  $\vec{r}$  містить дані щодо основних якісних ознак роботи, а також відповідні значення індексів тривимірного вектору  $\vec{r} = (i, j, k)$ .

До значень індексів тривимірного вектору  $\vec{r} = (i, j, k)$  відносимо:

1. Тип авіаційної роботи, при якій виконується конкретне поставлене завдання – індекс  $i$ .
2. Об'єкт виконання авіаційних робіт (об'єкт впливу) – індекс  $j$ .
3. Фізичний принцип виконання роботи – тип (особливості) взаємодії ЛА з об'єктом виконання робіт – індекс  $k$ .

На даний час в Україні основними завданнями авіації при виконанні патрулювання лісового господарства є:

1. Охорона лісів від пожеж.
2. Захист лісового господарства.
3. Устрій лісового господарства.
4. Моніторинг стану лісокористування.

Накопичений у лісовому господарстві досвід дозволяє робити висновок про те, що використання безпілотних комплексів самостійно, винятково для рішення завдань пошуку лісової пожежі, має низьку результативність. Сучасні тенденції розвитку систем керування та інформування дозволяють реалізувати принцип «Ситуаційної інформованості» у режимі близькому до реального часу. Саме тому безпілотні авіаційні комплекси повинні розглядатися як елементи єдиної інформаційної системи, формованої різними технічними засобами наземного, авіаційного й космічного виду.

Впровадження у виробничу діяльність галузей економіки безпілотних авіаційних комплексів повинне здійснюватися виходячи із цього головного принципу.

Можна виділити наступні типи взаємодії ППС із об'єктом виконання авіаційного спостереження й патрулювання у лісовому господарстві:

- $k = 1$  – патрулювання локальних або площинних об'єктів;
- $k = 2$  – огляд діючих пожеж;
- $k = 3$  – проведення повітряної розвідки кромки діючої великої пожежі;
- $k = 4$  – моніторинг стану торф'яних пожеж;
- $k = 5$  – оперативне інспектування місць проведення рубок та інших господарських заходів лісового фонду;
- $k = 6$  – моніторинг лісопатологічного стану ділянок лісового фонду;
- $k = 7$  – планове аерофотознімання великих ділянок насаджень лісництва з метою проведення лісоустрою;
- $k = 8$  – адресне аерофотознімання невеликих лісових ділянок на замовлення лісокористувача.

Для структурного вектору типу авіаційної роботи  $\vec{r}$ , який має наступні індекси  $i, j, k$  необхідно визначити значення кількісних параметрів, що становлять багатомірний параметричний вектор  $\vec{v}_r$ .

Відповідні параметри можна згрупувати за наступними фізичними ознаками:

1. Площа патрулювання, розміри, кількість об'єктів, які необхідно виявити;
2. Умови зльоту й посадки (висота, температура повітря, розміри злітно-посадкової смуги, міцність її поверхні, навігаційне забезпечення);
3. Висота польоту, швидкість, дальність, тривалість і траєкторія польоту при виконанні авіаційного спостереження й патрулювання;
4. Особливості атмосфери й навколишнього середовища при виконанні авіаційної роботи;
5. Склад та характеристики спеціалізованого бортового встаткування;
6. Умови проведення процедур технічної експлуатації й відповідних засобів.

Формалізоване уявлення типу робіт з виконання авіаційного спостереження й патрулювання  $S$  буде виглядати таким чином:

$$S = [\vec{r}, \vec{v}_r]. \quad (1)$$

В якості критерію оцінки ефективності застосування ППС у галузях економіки зазвичай використовується співвідношення між величиною ефекту від застосування ЛА та витратами, пов'язаними з його застосуванням [6, 7], де

$K_{\text{еф}}$  – критерій оцінки ефективності;

$E$  – величина ефекту від застосування ППС;

$B$  – витрати.

Критерій оцінки ефективності застосування ППС у галузях економіки визначається залежно від типу поставленого завдання.

При цьому показник якості проведення авіаційних робіт  $P_{\text{кач}}$  і показник безпеки  $P_{\text{без}}$  можуть або враховуватися у вигляді обмежень, або оптимізуватися як допоміжні критерії.

У процесі вироблення рішення щодо проведення авіаційних робіт у секторі лісового господарства замовники авіаційного патрулювання й спостереження висувають ряд основних вимог, які формалізуються показниками у вигляді обмежень, або критеріїв оптимізації при прийнятті рішень, залежно від поставленого завдання.

Основні показники, які повинні враховуватися при прийнятті рішень щодо проведення авіаційних робіт:

1.  $P_{\text{без}}$  – забезпечення безпеки проведення авіаційних робіт;
2.  $P_{\text{прод}}$  – виконання заданих обсягів робіт із заданою якістю та у визначений термін (із заданою продуктивністю);
3.  $P_{\text{екол}}$  – екологічні показники.

Для проведення аналізу ефективності застосування БПС необхідно визначити основні технологічні завдання, розв'язувані службами лісового господарства, при яких одночасно присутні дві умови: підйом над земною поверхнею й переміщення встаткування в точку простору.

Необхідно провести порівняння варіантів реалізації технологічного сценарію при виконанні лісгосподарського завдання із застосуванням БПС різних класів.

Матриця використання БПС для потреб лісового господарства в залежності від класу представлено у таблиці 1.

Таблиця 1. Матриця використання класів БПС для виконання завдань лісового господарства

Тип класу БПС цивільного призначення	Інформація підтримка оперативних штабів по гасінню великих лісових пожеж	Інформація підтримка наземних сил (віддалення до 5 км)	Плановий лісопатологічний моніторинг	Протидія незаконної господарської діяльності в лісах	Патрулювання лісового фонду
Мікро клас – робота в ближній зоні	-	*	-	-	-
Малий клас – робота на середньому віддаленні	*	-	-	*	-
Середній клас – робота на віддаленні до 100 км	*	-	*	*	*
Великий клас – робота на віддаленні більш ніж 100 км	*	-	*	-	*
Примітка: * - найбільш вигідне направлення застосування БПС даного класу					

Виконання огляду лісових масивів є основним видом діяльності при авіаційному патрулюванні локальних територій лісового фонду; проведенні лісопатологічного обстеження, протидії незаконної господарської діяльності. Патрулювання лісових територій може включати повсякденні авіаційні роботи, спеціальні польоти й інспекційні польоти.

Повсякденні авіаційні роботи, як правило, відносять до періодичних, спостережуваних і супроводжувальних польотів по заздалегідь визначеному маршруту (маршруту патрулювання). Вони зазвичай супроводжуються діяльністю, яка пов'язана зі спостереженням і комунікаційними процедурами. Супровід таких польотів включає спостереження природних або географічних особливостей, таких як берегова лінія, лінія границі, висотні будинки й спорудження, лісу, дороги, або трубопроводи.

Виконання такого виду авіаційного патрулювання може виконуватись із застосуванням широкого ряду БПС, в залежності від класу, як у нижньому (у тому числі на малих та гранично малих висотах), так і верхньому повітряному просторі.

Крім того, до авіаційного патрулювання лісового господарства можна віднести спеціальні польоти БПС, коли оператори-штурмани виводять за допомогою командної радіолінії керування БПС в задану область простору. Це може бути спостереження за наземним транспортом на території лісового господарства або виконання польотів для спостереження по запобіганню незаконних вирубок лісу.

При оцінюванні можливості та перспективи застосування БПС при виконанні авіаційного спостереження й патрулювання лісового фонду необхідно враховувати наступні передумови:

1. Зростання вартості розробки, створення й експлуатації ППС;
2. Підвищення льотно-технічних та експлуатаційних характеристик БПС;
3. Нові технології в області бортової авіоники й автоматизації польоту;
4. Ліквідація ризиків для пілотів в екстремальних і небезпечних умовах польоту;
5. Можливість автоматизації процесів застосування БПС при виконанні різних завдань у секторі лісового господарства.

При цьому необхідно також враховувати наступні обмеження при застосуванні БПС при виконанні завдань патрулювання лісового фонду:

1. Використання відео режиму в реальному часі вимагає надійного каналу зв'язку. Відповідно, БПС малих класів не можуть застосовуватися для авіаційного патрулювання великих за площею ділянок лісового фонду. Радіус ефективної дії у цьому випадку – обмежений.

2. Існують проблеми в нормативній базі для організації польотів БПС у повітряному просторі України.

3. Проблема аварійності малих БПС.

4. Через технічні особливості БПС у найближчій перспективі вони можуть бути тільки додатковим (допоміжним) інструментом при авіаційних роботах з охорони лісів.

Крім того, при інтеграції безпілотних авіаційних комплексів у загальний аеронавігаційний простір при вирішенні завдань в інтересах лісового господарства необхідно враховувати існуючу групу ризиків, що обмежують використання БПС у загальному повітряному просторі України.

Матриця ризиків, пов'язаних із розробленням та застосуванням БПС для виконання авіаційних робіт з патрулювання у лісовому господарстві представлено у таблиці 2.

Таблиця 2. Матриця ризиків, пов'язаних із розробленням та застосуванням БПС

Проблема	Група (вид) ризиків				
	Безпека польоту	Технічні	Юридичні	Соціально-політичні	Економічні
уникнення зіткнень	<b>високий</b>	<b>високий</b>	низький	низький	низький-високий
надійність підсистем	<b>високий</b>	низький	низький	низький	<b>високий</b>
людський фактор	помірний	помірний	низький	низький	низький
вплив погоди	помірний	помірний	низький	низький	помірний
безпека при падінні	низький	низький	низький	низький	помірний
захист зв'язку	низький	помірний	помірний	низький	помірний
захист даних	помірний	помірний	помірний	низький	помірний
КПР	помірний	помірний	низький	помірний	низький
взаємодія з КПР	низький	помірний	низький	низький	низький - помірний
інформаційні мережі	помірний	помірний	низький	низький	низький
зв'язок	помірний	<b>високий</b>	низький	низький	низький - <b>високий</b>
навігація	помірний	низький	низький	низький	низький
екіпаж	помірний	помірний	помірний	помірний	низький - помірний
повітряний простір	помірний	помірний	помірний	низький	низький
наземні операції	низький	низький	низький	низький	низький
схеми класифікації	помірний	низький	<b>високий</b>	низький	-
стандарти	<b>високий</b>	помірний	<b>високий</b>	низький	низький - <b>високий</b>
технічне регулювання	<b>високий</b>	низький	<b>високий</b>	низький	низький - <b>високий</b>
сертифікація	<b>високий</b>	помірний	<b>високий</b>	низький	низький - <b>високий</b>
атестація оператора	<b>високий</b>	низький	низький	низький	низький
соціально-економічні наслідки	-	-	низький	низький	помірний - <b>високий</b>
ставлення суспільства	-	-	-	<b>високий</b>	-
державні інвестиції	-	-	-	низький	низький - помірний
ринок і користувачі	-	-	помірний	<b>високий</b>	низький - <b>високий</b>

Матриця ризиків демонструє ключові проблеми нормативно-правового, нормативно-технічного й організаційного характеру розвитку ринку БПС.

Таким чином, застосування БПС при виконанні авіаційних робіт з патрулювання лісового фонду в загальному просторі України обмежують наступні проблеми:

1. концепція застосування у єдиному повітряному просторі України;
2. національна мережа обміну інформацією, бази даних;
3. система класифікації, визначень
4. стандарти льотної придатності та процедури сертифікації;
5. стандарти та програми підготовки й атестації кадрів;
6. правила виконання польотів в повітряному просторі;
7. процедури атестації оператора й ліцензування льотної діяльності;
8. гармонізація законодавчих актів та технічних стандартів;
9. система управління безпекою застосування й авторизації доступу;
10. взаємодія з системою керування повітряним рухом (КПР);
11. обговорення предмета із зацікавленими сторонами (влада, військові, промисловість, інвестори, ВНЗ, експлуатанти, суспільство).

Умови доцільності застосування БПС при виконанні робіт авіаційного патрулювання лісового фонду представлено в таблиці 3.

Таблиця 3. Умови доцільності застосування БПС при виконанні авіаційного патрулювання лісового фонду

1.	Наявність економічної вигоди від застосування БПС при виконанні конкретного завдання з патрулювання лісового фонду	$K_{\text{еф}}^{\text{БПС}} > K_{\text{еф}}^{\text{ППС}}$
2.	При виконанні завдань, пов'язаних з монотонністю роботи екіпажу	$P_{\text{без}}^{\text{БПС}} > P_{\text{без}}^{\text{ППС}}$
3.	При виконанні завдання протягом тривалого часу (тривале баражування)	$P_{\text{без}}^{\text{БПС}} > P_{\text{без}}^{\text{ППС}}$
4.	При виконанні завдань із потенційно високою небезпекою для екіпажів ППС	$P_{\text{без}}^{\text{БПС}} > P_{\text{без}}^{\text{ППС}}$
5.	Наявність переваг за екологічними показниками БПС у порівнянні із ППС	$P_{\text{екол}}^{\text{БПС}} > P_{\text{екол}}^{\text{ППС}}$

Економічна доцільність – основний критерій, що визначає впровадження БПС у лісовому господарстві.

Для вирішення лісопожежних завдань важлива здатність БПС надавати інформацію в оперативному режимі (online-режим відео трансляції).

Для вирішення завдань з лісоохорони й лісоустрою затребуваними якостями для БПС є тривалість польоту, можливість виконувати завдання в автоматичному й автономному режимах на значному віддаленні.

Для вирішення завдань щодо протидії незаконній господарської діяльності у лісовому господарстві БПС наділені низькою акустичною помітністю малих класів БПС на електричній тязі [8].

При застосування БПС для спостереження й патрулювання лісового господарства проявляються наступні їхні особливості та характеристики, що забезпечують відповідні переваги БПС у порівнянні із ППС за розглянутими критеріями й показникам (табл. 4).

Таблиця 4. Переваги БПС у порівнянні із ППС при виконанні авіаційного спостереження та патрулювання лісового господарства за основними критеріями й показникам

1.	Велика тривалість польотів	$P_{\text{без}}^{\text{БПС}} > P_{\text{без}}^{\text{ППС}}$
2.	Економічний ефект у порівнянні із ППС (за рахунок меншої розмірності БПС)	$K_{\text{еф}}^{\text{БПС}} > K_{\text{еф}}^{\text{ППС}}$
3.	Кращі екологічні показники БПС у порівнянні із ППС	$P_{\text{екол}}^{\text{БПС}} > P_{\text{екол}}^{\text{ППС}}$
4.	Застосування 24 години на добу / 7 днів на тиждень	$K_{\text{еф}}^{\text{БПС}} > K_{\text{еф}}^{\text{ППС}}$

У сучасних умовах рівень розвитку безпілотних авіаційних технологій в Україні дозволяє чітко оцінити можливість БПС різних класів при виконанні конкретних завдань для лісового господарства. Напрямок розвитку БПС прямує від «універсальності» у бік «спеціалізації» БПС, а також безпілотних авіаційних комплексів на «уніфікованих» платформах керування.



**Висновки.** У перспективі необхідно створювати безпілотні комплекси винятково під цільові вимоги замовника виконання авіаційних робіт і послуг. При цьому «уніфікація» платформи керування дозволять формувати один комплекс із набором апаратів різного класу й типу. Даний підхід дозволить знизити вартість як самого безпілотного комплексу, так і питомі витрати в період його експлуатації за рахунок оптимізації виконання польотів шляхом вибору типу апаратів і корисного навантаження під конкретні завдання авіаційного патрулювання лісового господарства.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Повітряний Кодекс України (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2011, №48-49, ст.536) - Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/3393-17>.
2. Клочков В. В., Никитова А. К., Ефимова Н. С. Экономическое обоснование основных направлений разработки авиационной техники (на примере беспилотных летательных аппаратов) [Текст] // Вестник Московского авиационного института, т. 16, №5, 2009, С. 82-91.
3. Журавлев П. В., Журавлев В. Н. Обобщенный подход к решению задачи формирования и оптимизации «Системы беспилотных летательных аппаратов, предназначенной для мониторинга окружающей среды и наземных объектов» [Текст] // Научный вестник МГТУ ГА. 2010. № 151. С. 79-86.
4. Исаев А. С. Эффективность авиационных комплексов. М.: МАИ, 1976. 58 с.
5. Формирование технических объектов на основе системного анализа / В. Е. Руднев, В. В. Володин, К. М. Лучанский, В. Б. Петров.: Машиностроение, 1991. 320 с.
6. Долбня Н. В. Эффективность применения авиации в отраслях народного хозяйства. М.: Воздушный транспорт, 1990. 264 с.
7. Худоленко О. В. Эффективность эксплуатации воздушных судов на авиаработах. М.: Воздушный транспорт, 2005. 328 с.
8. Коршунов Н. Лесные помощники – летающие роботы [Текст] / Н. Коршунов, Р. Котельников // Лесной бюллетень. 2006. №32.