

УДК 528.715:629.735(045)

**М.П. Матійчик**, к.т.н., доц.  
**Т.Ю. Лаврик**, студ.  
**Н.О. Суворова**, асист.  
**І.А. Качало**, студ.

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ВИКОНАННЯ АЕРОЗНІМАЛЬНИХ РОБІТ БЕЗПІЛОТНИМИ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ

*Розроблено структури технологічних процесів виконання аерознімальних робіт за допомогою пілотованих та безпілотних транспортних засобів. Встановлено відмінності у технологіях проведення аерознімальних робіт для двох різних транспортних засобів. Запропоновано шляхи удосконалення технологічних процесів, аерознімальних робіт.*

*We gave designed the structures of the technical processes doing the air picturing works with the help of manned and unmanned air vehicles. Also we have made a distinctions in the technology of the process for two different vehicles. We proposed the ways of advancing of the processes.*

**аерознімальні роботи, безпілотне повітряне судно, пілотоване повітряне судно, технологічний процес проведення аерознімальних робіт, час виконання технологічного циклу аерознімальних робіт**

### Вступ

Аерознімальні роботи (АЗР) – класичний приклад залучення цивільної авіації для потреб економіки. Вони належать до авіаційних робіт, коли у польоті повітряне судно (ПС) не втрачає маси корисного навантаження, і є надзвичайно різноманітними. При цьому класифікаційними ознаками є зони спектру електромагнітних хвиль, висота аерознімання, тип аерофотоапарата (АФА) тощо. Важливим є також конструктивні особливості ПС, які впливають на якість та види АЗР, що виконуються.

Останніми роками набуває ваги фактор впровадження у практику виконання АЗР безпілотних транспортних засобів у вигляді безпілотних повітряних суден (БПС), у цивільній авіації БПС втілюють у життя ефективні безлюдні технології, основані на ідеї винесення людини з борту рухомого об'єкта, що зрештою зменшує питомі витрати під час виконання технологічного процесу аерознімання [1].

### Постановка проблеми

Загальновідомо, що цивільну авіацію використовують для перевезень та авіаційних робіт (АР). З точки зору теорії транспортних процесів АР відрізняються від класичних перевізних процесів. Проте нині невідомі відмінності структури АР від структури перевізного процесу, що накладає значні труднощі на віднесення того чи іншого їх виду до напряму досліджень, породжує ускладнення у понятійному апараті під час визначення мети, меж та структури досліджень, ускладнює

проведення техніко-економічних обґрунтувань та визначення показників ефективності АР.

Впровадження у практику БПС гальмується у зв'язку з браком розробок, у яких було б встановлено параметри технології виконання АЗР за допомогою БПС.

Відповідно мета дослідження полягає у встановленні закономірностей розподілу технологічного часу під час проведення АЗР із застосуванням вказаних ПС. Це дасть змогу розробникам та експлуатантам авіаційної техніки отримати фактичний матеріал для формування тактико-технічних вимог до БПС цивільної авіації, спеціалізованих на виконанні АЗР.

### Вирішення проблеми

Класичний технологічний процес проведення АЗР за допомогою пілотованого ПС (ППС) можна подати у вигляді таких етапів (рис. 1):

- 1) отримання дозволу на політ;
- 2) підготовка до знімального польоту;
- 3) отримання завдання на політ;
- 4) вирулювання ППС на ЗПС;
- 5) зліт ППС;
- 6) переліт на місце виконання АЗР;
- 7) виконання польоту зі зйомкою:
  - а) передача матеріалів аерознімання на наземне обладнання;
  - б) виконання розворотів;
- 8) повернення літака на місце базування;
- 9) посадка ППС;
- 10) зарулювання зі злітно-посадкової смуги (ЗПС) на стоянку;



Рис. 1. Структурна схема технологічного процесу проведення АЗР за допомогою ППС Ан-2

11) оброблення матеріалів аерознімання в аерофотограметричній лабораторії (АФГЛ);  
12) передача матеріалів аерознімання замовнику. Це циклічний процес з елементами 1–12 певною мірою подібний до процесу авіаційних перевезень (звичайною стрілкою позначається перехід від одного етапу до іншого, пунктирною – перехід до наступного етапу під час аерознімання у режимі on-line, двобічною стрілкою з'єднуються етапи, які виконують одночасно).

Перевізним вважають процес, у якому повною мірою подано всю сукупність операцій від моменту підготовки вантажу до відправлення і до моменту його отримання.

Однак для АЗР етапів навантаження та розвантаження немає. У структурі АЗР вони замінені на етапи 1–5 та 9–12. Від перевізного процесу залишається тільки складова транспортування, яку можна трактувати як процес переміщення АФА (етапи 6–8). Такий технологічний процес для ППС набуває ознак спеціалізованого, і відповідно розрахунки його параметрів відмінні від розрахунків перевізного процесу.

Коли БПС виконуються АЗР, то через його характерні риси структура технологічного процесу певним чином змінюється. Її можна подати у вигляді таких етапів:

- 1) отримання дозволу на політ;
- 2) транспортування БПС від місця базування до місця виконання АЗР;
- 3) розвантаження, складання та заправка БПС, підготовка катапультного пристрою;
- 4) проведення передпольотного огляду БПС згідно з регламентом;
- 5) задавання параметрів польоту та аерознімання;
- 6) запуск, зліт та набір висоти БПС;
- 7) політ з виконанням АЗР:
  - а) передача матеріалів аерознімання на наземне обладнання;
  - б) виконання розворотів;
- 8) посадка БПС;

- 9) пошук БПС та його транспортування до місця базування на ділянці виконання АЗР;
- 10) розбирання БПС, злив палива, протирання та завантаження БПС в автомобіль;
- 11) транспортування від місця виконання АЗР до місця базування;
- 12) передавання та оброблення матеріалів аерознімання в АФГЛ;
- 13) передавання матеріалів аерознімання замовнику.

Структурну схему технологічного процесу проведення аерознімальних робіт БПС зображено на рис. 2.

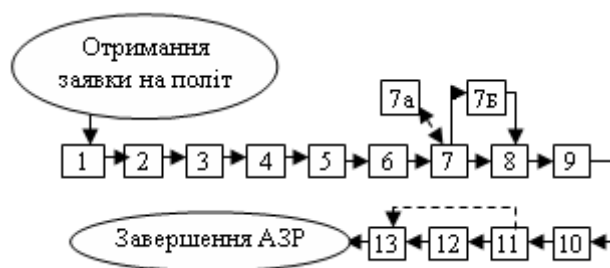


Рис. 2. Структурна схема технологічного процесу проведення АЗР за допомогою БПС

Безпілотне ПС у нашому випадку – це крилатий літальний апарат «Жайвір М6» (рис. 3), який має такі технічні характеристики [2]:

- стартова маса – до 11 кг;
- маса корисного навантаження – до 5 кг;
- розмах крила – 1,6 м;
- максимальна швидкість – 160 км/год;
- потужність двигуна – 2,5 кВт;
- максимальне віддалення в автоматичному режимі – 5 км;
- спосіб старту – катапультний;
- спосіб посадки – на шасі або парашутний;
- тривалість польоту – 2,5 год.

Особливістю БПС «Жайвір М6» є те, що його можна доставляти на базовому автомобілі або на іншому транспорті на місце виконання робіт, а також повертати на місце постійної дислокації.



Рис. 3. Вигляд БПС «Жайвір М6» (3/4 справа)

Відповідно зі структури (рис. 2) виключаються етапи, які виконує літак Ан-2: переліт зі ЗПС до місця виконання робіт та повернення на нього.

З точки зору профілю польоту, АЗР виконуються як сукупність паралельних заходів (маршрутів) з розворотами ПС на  $180^\circ$ . Сюди не включали час отримання дозволу на політ, а також технологічний час передачі та оброблення матеріалів, перзнімання матеріалів для замовника. Указані інтервали часу приблизно однакові для обох випадків [3].

У розрахунках враховували таке:

- місце виконання АЗР розташоване на відстані 10 км від місця базування;
- робоча швидкість БПС «Жайвір М6» – 130 км/год;
- район виконання АЗР –  $20 \times 2$  км;
- БПС приземлюється на відстані приблизно 100 м від бази;
- довжина ЗПМ для посадки ППС Ан-2 становить 100 м;
- не враховували час виконання етапів, що мають приблизно однакові показники для БПС та ППС (для БПС етапи 1, 12, 13; а для ППС – 1, 11, 12).

Кількість заходів ПС під час виконання АЗР розраховували для БПС «Жайвір М6» та для ППС Ан-2 враховуючи, що АЗР виконуються за допомогою АФА «Leica RC-30» з об'єктивом «15/4 UAG-S» з фокусною відстанню 153 мм та кутом поля зору  $90^\circ$ . Заданий лінійний масштаб  $M_c = 1000$ . Розмір кадру аерознімка  $23 \times 23$  см.

Схему для обчислення характеристик аерофотографування подано на рис. 4 [4].

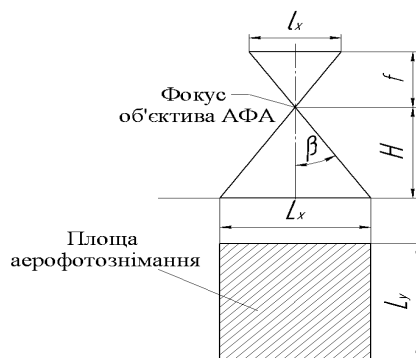


Рис. 4. Схема до обчислення характеристик аерофотографування

Алгоритм проведення розрахунків (рис. 5) послідовний і не містить зворотних зв'язків. Розрахункові формули подано в табл. 1 [4].

Згідно з класичною траєкторією виконання аерознімання, до розрахунку потрібно також включити час виконання віражу, оскільки розворот на  $180^\circ$  є перехідним елементом, що з'єднує паралельні заходи ПС. Час виконання віражу для розвороту на  $180^\circ$  розраховували згідно з працею [5].

Нормальне перевантаження ПС на віражі

$$n_y = \frac{1}{\cos \gamma},$$

де

$\gamma$  – кут крену ПС.

Для БПС «Жайвір М6» допускається  $\gamma = 65^\circ$ , а для ППС Ан-2  $\gamma = 30^\circ$ . Тоді перевантаження для БПС «Жайвір М6»:

$$n_{yM} = \frac{1}{\cos \gamma_M}; n_{yM} = \frac{1}{0,423} \approx 2,364.$$

Відповідно для БПС „Жайвір М6”  $n_{yM} = 2,364$ , а

для ППС Ан-2  $n_{yAn-2} = 1,155$ .

Потрібну швидкість для виконання віражу знаходили з виразу:

$$V_{vir} = V_{кр} \sqrt{n_y},$$

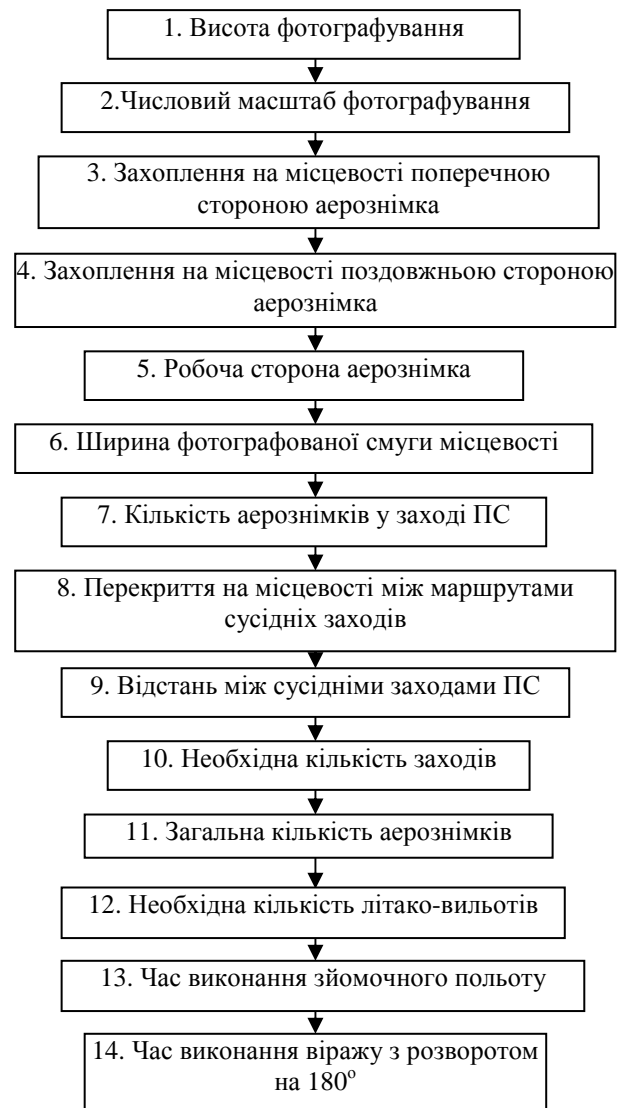


Рис. 5. Алгоритм розрахунків характеристик аерознімального польоту ПС

Таблиця 1

## Розрахункові формули для обчислення характеристик аерофотографування

Номер кроку	Розрахункова формула	Одиниці вимірювання	Абсолютне значення результату
1	$H = fM_c$ , де $f$ – фокусна відстань об'єктива АФА	м	153
2	$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}$	–	$m = 1:1000$
3	$L_y = l_y M_c$ , де $l_y$ – розмір сторони аерознімання, перпендикулярної до напрямку польоту	м	230
4	$L_x = l_x M_c$ , де $l_x$ – розмір сторони аерознімання, паралельної напрямку польоту	м	230
5	$a = l_x \left( \frac{100 - p}{100} \right)$ , де $p$ – поздовжнє перекриття між аерознімання	м	9,2
6	$L = 2Htg(\alpha + \beta_y)$ , де $\alpha$ – кут відхилення осі АФА від вертикалі; $\beta_y$ – половина кута поля зображення АФА по поперечній стороні аерознімання	м	306
7	$N_{\text{зн. зах}} = \frac{nS_x}{L_a}$ , де $S_x$ – довжина маршруту	шт.	3
8	$Q = \frac{q}{100} l_y M_c$	м	69
9	$R = L - Q$	м	237
10	$N_{\text{зах}} = \frac{S_y}{R}$ , де $S_y$ – ширина фотографованої ділянки місцевості	шт.	9
11	$N_{\text{зн. заг.}} = N_{\text{зн. зах}} N_{\text{зах}}$	шт.	27
12	$N_{\text{л/вил}} = \frac{N_{\text{зн. заг.}}}{N_{\text{зн. АФА}}}$	шт.	1
13	$t_{\text{політ}} = N_{\text{зах}} \frac{S_x}{V_{\text{кр}}}$	хв	83/67,5 (БПС/ППС)

де  $V_{кр}$  – крейсерська швидкість ПС.

Тоді для БПС «Жайвір М6»

$$V_{вір М6} = 55,52 \text{ м/с,}$$

для ППС Ан-2

$$V_{вір Ан-2} = 7,76 \text{ м/с.}$$

Радіус правильного віражу знаходили з формули

$$r_{вір} = \frac{V_{вір}^2}{g\sqrt{n_y^2 - 1}}$$

Для БПС «Жайвір М6»

$$r_{вір М6} = 147 \text{ м;}$$

для ППС Ан-2

$$r_{вір Ан-2} = 402 \text{ м.}$$

Довжина шляху на віражі дорівнює:

$$L_{вір} = \pi r_{вір}.$$

Для БПС «Жайвір М6»

$$L_{вір М} = 461,5 \text{ м;}$$

для ППС Ан-2

$$L_{вір Ан-2} = 12612 \text{ м.}$$

Час виконання віражу обчислювали за формулою

$$t_{вір} = \frac{L_{вір}}{V_{вір}}.$$

Відповідно для БПС «Жайвір М6»

$$t_{вір М} = 8,3 \text{ с;}$$

для ППС Ан-2

$$t_{вір Ан-2} = 26,4 \text{ с.}$$

Розраховували час виконання розворотів за співвідношенням:

$$t_{розв} = t_{вір} (N_{зах} - 1).$$

Час для БПС «Жайвір М6»

$$t_{розв М} = 66,4 \text{ с} \approx 1,1 \text{ хв.}$$

Для Ан-2

$$t_{розв Ан-2} = 211,2 \text{ с} \approx 3,5 \text{ хв.}$$

Отримані результати розрахунків подано в табл. 2.

**Примітка:**

\* місце виконання АЗР на відстані 10 км від місця базування;

\*\* етапи 7 та 7а виконуються одночасно; робоча швидкість БПС «Жайвір М6» – 130 км/год, Ан-2 – 160 км/год;

\*\*\* район виконання АЗР – 20 × 2 км;

\*\*\*\* у теплий період;

\*\*\*\*\* парашутний спосіб посадки;

\*\*\*\*\* літаковий спосіб посадки;

\*\*\*\*\* посадка БПС на відстані приблизно 100 м;

\*\*\*\*\* довжина ЗПМ 100 м [3].

Таблиця 2

**Результати розрахунків часу виконання технологічного циклу АЗР за допомогою БПС та ППС**

БПС «Жайвір М-6»		ППС Ан-2	
Етап АЗР	Час виконання	Етап АЗР	Час виконання
1	–	1	–
2*	10	2	53 <sup>****</sup>
3	10	3	1
4	0,5	4	1,5
5	5	5	1,2
6	0,5	6*	3,75
7**	83	7**	67,5
7а**	–	7а**	–
7б***	1,1	7б***	3,5
8	0,22 <sup>*****</sup> / 0,5 <sup>*****</sup>	8*	3,75
9	1 <sup>*****</sup>	9	0,7 <sup>*****</sup>
10	10	10	1,5
11	10	11	–
12	–	12	–
13	–	–	–
Σ ≈ 131,6 хв ≈ 2 год 12 хв		Σ ≈ 137,4 хв ≈ 2 год 18 хв	

Графіки розподілу часу виробничого циклу БПС та ППС під час виконання АЗР залежно від етапу зображено на рис. 6 та 7.

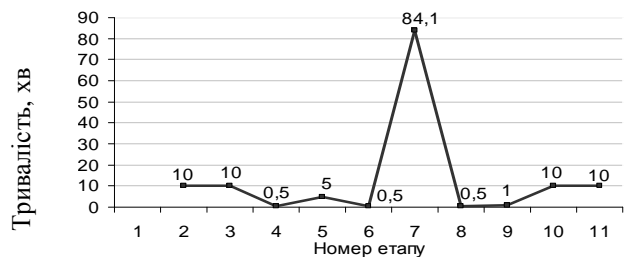


Рис. 6. Розподіл часу виробничого циклу БПС під час виконання АЗР залежно від етапу циклу

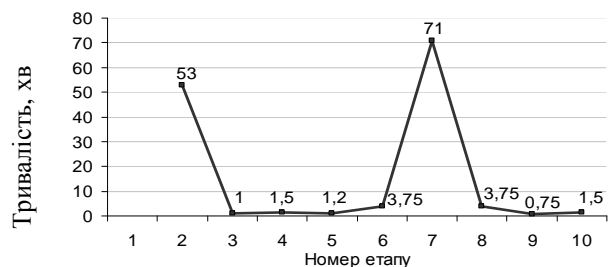


Рис. 7. Розподіл часу виробничого циклу ППС під час виконання АЗР залежно від етапу циклу

Графічна інтерпретація результатів дослідження показує, що суттєва відмінність між виконанням АЗР за допомогою ППС та БПС спостерігається переважно під час виконання етапів 2 та 3, причому менші показники затрат часу притаманні БПС. На етапі 5 певний «стрибок» затрат (у бік погіршення) відбувається з БПС. На етапі 7 ППС дещо ефективніший. Це відбувається внаслідок більш високої крейсерської швидкості польоту ППС Ан-2. На етапах 9 та 10 затрати часу у БПС знову зростають.

Розрахунковий загальний час виконання АЗР за допомогою БПС та ППС майже однаковий (відрізняються лише на 6 хв) і становить 2 год 12 хв та 2 год 18 хв відповідно. Безпосередній час виконання АЗР для БПС перевищує час виконання допоміжних робіт на 36,6 хв, тобто більше ніж у 1,77 разу. Відповідно для ППС це перевищення сягає 4,6 хв тобто більше ніж у 1,07 разу.

Під час використання ППС більше часу потребують допоміжні роботи з його підготовки до польоту. У разі застосування БПС час безпосереднього виконання робіт становить 64 % від всього часу, а у разі застосування ППС – 52 %, причому підготовка до польоту становить 39%, тоді коли для БПС підготовка до польоту становить лише 8 %.

### Висновки

1. Для зменшення часу на етапі 5 потрібно удосконалити програмні засоби задавання профілю автоматичного польоту БПС.

2. З метою зменшення затрат часу на етапі безпосереднього виконання аерознімального польоту БПС (етап 7), потрібно збільшувати швидкість його крейсерського польоту.

3. Витрати часу під час посадки БПС можна зменшити, виконуючи її у пілотованому режимі (RC-pilot), щоб домогтися максимального наближення БПС до базового транспортного засобу. Режим парашутної посадки буде неконтрольовано збільшувати вказаний час.

4. Для зменшення часу на «монтаж-демонтаж» з транспортного положення та навпаки (етапи 3 та 9), потрібно в цьому напрямку максимально спрощувати конструкцію БПС.

### Література

1. *Лавров Л.Д.* Справочник по авиационно-химическим работам в сельском хозяйстве / Л.Д. Лавров. – М.: Транспорт, 1968. – 192 с.
2. *Матійчик М.П.* Економічна ефективність захисту рослин за допомогою безпілотних літальних апаратів / М.П. Матійчик, Г.М. Михайлов, Г.М. Юн // Зб. наук. пр. Київського університету економіки і технологій транспорту. – 2007. – Вип. 9. – С. 175–181.
3. *Матійчик М.П.* Аналіз виробничих процесів «малої авіації» за транспортною складовою / М.П. Матійчик, Г.М. Юн // Зб. наук. пр. Київського університету економіки і технологій транспорту. – 2008. – Вип. 11. – С. 154–162.
4. *Лавский В.М.* Авиационный справочник (для летчика и штурмана) / В.М. Лавский. – М.: Воениздат, 1964. – 416 с.
5. *Справочник авиационного техника* / сост.: И.С. Мурза и др. – М.: Воениздат, 1961. – 512 с.

Стаття надійшла до редакції 16.06.09.