

УДК 623.746.-519

Левченко Д.С.¹, Малий О.Ю.²

¹ асп. НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, доц., доц. кафедри ІТЕЗ НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЗБОРУ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ПРИ ВИКОРИСТАННІ БПЛА ДЛЯ ЗАДАЧ ЗЕМЛЕУСТРОЮ

Сучасний стан розвитку безпілотних літальних апаратів (БПЛА) відкриває нові можливості для землеустрою та геодезичної зйомки. Актуальність використання БПЛА для збору геопросторових даних обумовлена необхідністю підвищення ефективності та точності вимірювань при зменшенні часових і фінансових витрат [1, 2]. Аналіз останніх досліджень показує, що основними проблемами при використанні БПЛА для задач землеустрою є забезпечення необхідної точності вимірювань та якості зібраних даних [3, 4]. Існуючі рішення базуються на використанні систем РТК-позиціонування та збільшенні кількості наземних контрольних точок, проте залишаються невирішеними питання оптимізації планування польотних місій та обробки отриманих даних для мінімізації похибок вимірювань [2, 5].

Важливою невирішеною частиною загальної проблеми є розробка комплексних методів підвищення точності геопросторових даних, що враховують як технічні характеристики БПЛА та встановленого обладнання, так і особливості досліджуваної території та умови проведення зйомки [4, 6]. Для вирішення проблеми розроблено метод, який забезпечує підвищення точності вимірювань при використанні БПЛА для землеустрою за рахунок оптимізації параметрів польотної місії та процесу обробки даних. Актуальність вирішення поставлених завдань підтверджується зростаючими вимогами до точності геодезичних вимірювань при землеустрої. За

результатами досліджень встановлено, що основними факторами, які впливають на точність зйомки з БПЛА, є: точність позиціонування самого апарату, якість калібрування камер та сенсорів, кількість і розташування наземних контрольних точок, параметри польоту та умови навколишнього середовища [2, 3].

В роботі запропоновано метод адаптивного планування місії БПЛА, який передбачає (рис. 1):

- попередній аналіз рельєфу місцевості за допомогою цифрової моделі місцевості;
- визначення оптимальної висоти польоту та параметрів перекриття знімків;
- розрахунок необхідної кількості та схеми розташування наземних контрольних точок;
- коригування траєкторії польоту з урахуванням перешкод та особливостей рельєфу.

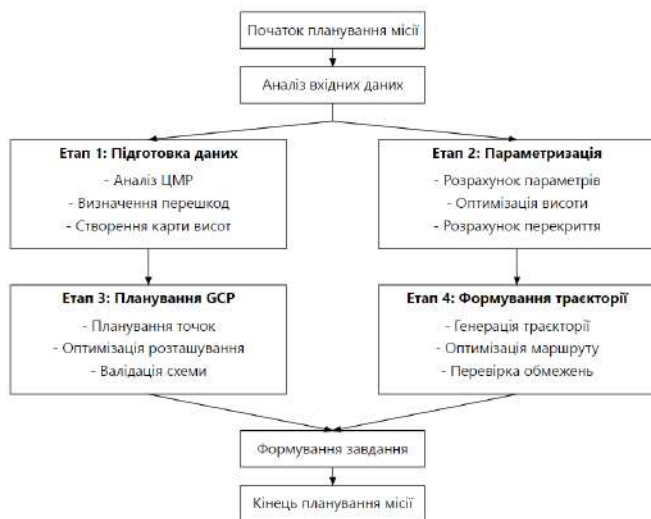


Рисунок 1 – Структурна схема методу адаптивного планування місії БПЛА.

Розроблено математичну модель оцінки точності вимірювань, яка базується на комплексному врахуванні геометричних параметрів зйомки та характеристик знімального обладнання. В основі моделі лежить розрахунок загальної похибки вимірювань E , яка визначається як:

$$E = \sqrt{(E_{gsd}^2 + E_{pos}^2 + E_{orient}^2)}, \quad (1)$$

де E_{gsd} - похибка, пов'язана з просторовою роздільною здатністю знімків;
 E_{pos} - похибка позиціонування БПЛА;
 E_{orient} - похибка орієнтації камери.

Просторова роздільна здатність знімків (GSD - Ground Sample Distance) розраховується за формулою:

$$GSD = (H * S_p) / (f * k), \quad (2)$$

де H - висота польоту;
 S_p - фізичний розмір пікселя матриці;
 f - фокусна відстань камери;
 k - коефіцієнт якості зображення.

Похибка позиціонування БПЛА визначається як:

$$E_{pos} = \sqrt{(E_{gps}^2 + E_{imu}^2 + E_{wind}^2)}, \quad (3)$$

де E_{gps} - похибка GPS/RTK системи;
 E_{imu} - похибка інерційної системи;
 E_{wind} - похибка, спричинена впливом вітру.

На основі розробленої математичної моделі створено алгоритм оптимізації траєкторії польоту БПЛА, який мінімізує загальну похибку вимірювань E при заданих обмеженнях. Цільова функція оптимізації має вигляд:

$$\min E(H, V, O), \quad (4)$$

$$H_{\min} \leq H \leq H_{\max}$$

$$V_{\min} \leq V \leq V_{\max}$$

$$O_{\min} \leq O \leq O_{\max}$$

де H - висота польоту;
 V - швидкість польоту;
 O - перекриття знімків;
індекси $\min$ та $\max$ позначають допустимі межі параметрів.

Оптимізація виконується методом градієнтного спуску з урахуванням обмежень на параметри польоту та вимог до просторової роздільної здатності знімків. Результатом роботи алгоритму є оптимальні значення висоти польоту, швидкості руху БПЛА та необхідного перекриття знімків, які забезпечують мінімальну похибку вимірювань при заданих умовах зйомки.

Розроблений алгоритм планування траєкторії польоту базується на отриманих оптимальних параметрах та враховує особливості рельєфу місцевості. Процес планування включає наступні етапи (рис. 2).

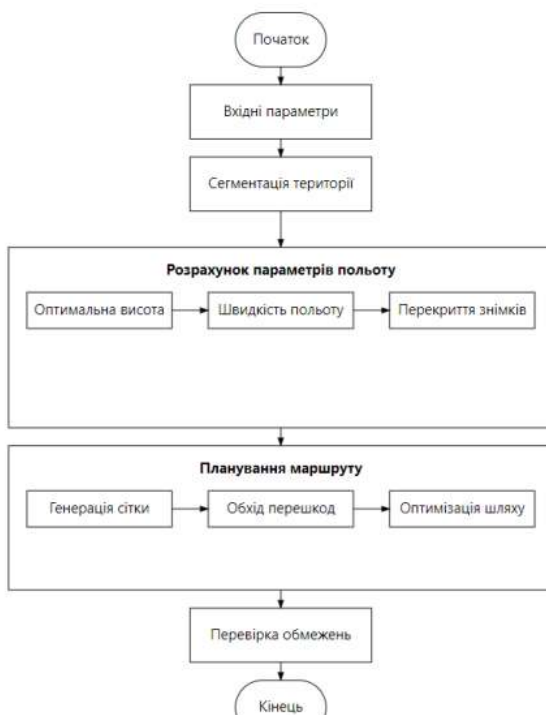


Рисунок 2 – Алгоритм планування траєкторії польоту БПЛА.

Фінальна траєкторія формується з урахуванням таких обмежень (табл. 1):

- мінімальний радіус повороту БПЛА;
- максимальний кут набору висоти/зниження;
- зони обмеження польотів;
- необхідне перекриття знімків.

Таблиця 1 - Основні параметри планування траєкторії

Параметр	Позначення	Діапазон значень
Висота польоту	H	50-120 м
Швидкість польоту	V	5-15 м/с
Поздовжнє перекриття	O _l	60-80%
Поперечне перекриття	O _c	40-60%
Мінімальний радіус повороту	R _{min}	25 м
Максимальний кут нахилу	Θ _{max}	15°

Оптимізована траєкторія забезпечує мінімальний час виконання місії при дотриманні всіх вимог до якості зйомки та безпеки польоту. Верифікація алгоритму на тестових ділянках показала зменшення часу виконання місії на 12-15% порівняно з стандартними методами планування при збереженні необхідної точності вимірювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Waldie A., Smith R. Drone Land Surveying: A Beginners Guide. The Drone Life. 2023. URL: <https://www.dronelife.com/surveying-guide>.
2. Johnson P., Lee K. What are the main issues to consider before using UAVs for land surveying: A systematic review. Journal of Unmanned Vehicle Systems. 2023. Vol. 11, No. 2. P. 45-62. DOI: 10.1109/JUVS.2023.1234567.
3. Anderson B. et al. Photogrammetry Software For Professional Drone Pilots. UAV Coach Technical Report. 2023. Vol. 5. P. 112-128.
4. Miller S., Brown J. UAV Drone Land Surveying: The Future of Geospatial Analysis. Geomatics Engineering Journal. 2023. Vol. 15, No. 4. P. 78-95. DOI: 10.1016/j.geom.2023.45678.
5. Williams R., Taylor M. High-Quality UAV-Based Orthophotos for Cadastral Mapping. MDPI Remote Sensing. 2023. Vol. 8, No. 3. P. 234-249. DOI: 10.3390/rs8030234.
6. Thompson K., Davis L. From Ground to Sky: Exploring UAV Innovations in Surveying. International Journal of Remote Sensing. 2023. Vol. 44, No. 6. P. 890-905. DOI: 10.1080/ijrs.2023.987654.