

С. П. Фриз, В. А. Миклуха, Л. М. Марищук, Р. О. Авсієвич

## МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТУ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА В ХОДІ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ НА ЗАДАНІЙ ВИСОТІ

*Статтю присвячено актуальній тематиці, а саме оптимізації та вдосконаленню способів і методів планування маршруту безпілотного літального апарата.*

*Проаналізовано сучасний стан розвитку безпілотних літальних апаратів та завдання, які вони виконують. Визначено низку невирішених проблемних питань щодо побудови маршруту руху безпілотного літального апарата залежно від характеру поставлених завдань. Встановлено, які основні тактико-технічні характеристики безпілотного літального апарата та цільового навантаження впливають на планування маршруту.*

*Розглянуто підходи до побудови маршруту безпілотного літального апарата з використанням теорії графів, проаналізовано їх переваги та недоліки. Визначено можливості відомих способів оптимізації маршруту безпілотного літального апарата та обрано для подальшої реалізації один з проаналізованих алгоритмів пошуку найкоротшої траєкторії польоту. Проаналізовано методи багатокритерійної оптимізації, зокрема кластерного аналізу, та виділено ті, які підходять для заданих умов. Серед усіх алгоритмів кластеризації обрано актуальні для оптимізації польоту безпілотного літального апарата. Запропоновано вдосконалений метод, який поєднує кластеризацію (на основі алгоритмів FOREL-2, K-MEANS) і оптимізацію на графі (з використанням модифікованого алгоритму Літла) та сприяє оптимізації маршруту безпілотного літального апарата за критерієм його найменшої протяжності.*

*Проведено практичний розрахунок за вдосконаленим методом для обраного безпілотного літального апарата та цільового навантаження і показано, як зміниться його маршрут порівняно з відомими методами.*

*Виділено основні отримані результати та напрямки подальших досліджень щодо оптимізації маршруту безпілотного літального апарата для виконання ним поставлених завдань.*

**Ключові слова:** *безпілотний літальний апарат; маршрут; оптимізація; знімання; об'єкт знімання; кластеризація; алгоритм Літла.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Розвиток сучасних технологій у галузі робототехніки значно розширив можливості безпілотних літальних апаратів (БпЛА). З появою БпЛА невеликих розмірів (I класу з вагою до 25 кг) спектр завдань, які вони здатні виконувати, значно розширився. На сьогодні їх використовують як у воєнних цілях, так і в цивільних. До основних завдань БпЛА I класу належать такі: ведення розвідки (оптична, хімічна, радіаційна тощо); моніторинг лісових масивів (в інтересах підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій); моніторинг прикордонної зони (в інтересах загонів Державної прикордонної служби України); спостереження за осередками масових заворушень (в інтересах Національної поліції) та багато інших.

© С. П. Фриз, В. А. Миклуха, Л. М. Марищук, Р. О. Авсієвич, 2019

Але стрімкий розвиток БпЛА I класу обумовлює низку проблемних питань щодо способів та методів їх застосування. Найпоширенішими з них є прокладання маршрутів і визначення почерговості проходження їх точок залежно від специфіки поставлених завдань та умов застосування БпЛА. Щодо завдання побудови маршруту, то можна зазначити, що на сьогодні відсутні чіткі алгоритми та способи побудови траєкторії руху БпЛА для того чи іншого цільового призначення. При цьому не враховують специфіки поставленого завдання: необхідної висоти польоту, наявного цільового навантаження та його характеристик, можливого зменшення протяжності маршруту, почерговості проходження точок маршруту тощо. Програмне забезпечення (Mission Planner, Intel Mission Control, Pix4D capture, UgCS та інше), яке використовують для прокладання маршрутів БпЛА й управління ними в польоті, не вирішують зазначених завдань. Тому питання щодо оптимізації маршруту БпЛА за рахунок зменшення його протяжності для тих чи інших завдань є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питаннями, пов'язаними з дослідженнями щодо вдосконалення та підвищення ефективності застосування БпЛА для виконання завдань спостереження й розвідки заданих районів, займалися такі вітчизняні вчені: О. В. Харченко, С. П. Мосов, В. Б. Толубко, І. В. Матала, В. В. Руснак, С. А. Станкевич тощо.

Плануванню та застосуванню БпЛА в різних умовах для виконання різноманітних цільових завдань також присвячено багато наукових робіт. У [1, 6] розглянуто питання, які стосуються побудови їх маршрутів руху за будь-яких обставин. Робота [2] присвячена саме плануванню застосування БпЛА, у ній проаналізовано основні програмні засоби планування маршрутів, алгоритми та способи планування застосування БпЛА для різних специфічних завдань. В [11, 12] розкрито загальні питання та основні підходи до застосування БпЛА I класу для різних завдань. Але досі не приділено достатньої уваги поетапній побудові маршруту руху БпЛА, правильності вибору почерговості проходження заданих об'єктів, не розглянуто питання оптимізації прокладеного маршруту з метою зменшення його протяжності.

Слід зазначити, що оптимізація побудови маршрутів на етапі їх планування є актуальним науковим завданням. Про це свідчать численні роботи (українські та закордонні публікації), присвячені саме цій проблематиці. У [4, 5, 14] розглянуто питання побудови та оптимізації маршрутів з використанням методів оптимізації на графах (розв'язання класичної задачі комівояжера). У роботах [9, 14] запропоновано оптимізацію на графах з використанням алгоритму Літтла, який виділено як один із точних розв'язків задачі комівояжера. Але в цих роботах не враховано специфіки застосування та можливостей оптимізації маршруту безпосередньо для БпЛА. У публікаціях [3, 7] розглянуто питання щодо можливостей кластеризації об'єктів з подібними ознаками. Проаналізовано основні підходи до їх вирішення, виділено переваги та недоліки різних алгоритмів кластеризації, проте не враховано характеристик польоту БпЛА, а саме висоти польоту та її впливу на формування вибірок і подальшу кластеризацію загального маршруту.

**Метою статті** є розробка методу оптимізації маршруту БпЛА за критерієм найменшої протяжності, який буде враховувати параметри виконання поставлених завдань.

**Формулювання завдання дослідження.** Нехай є заданий район знімання з певною кількістю об'єктів  $n$ , які необхідно зняти. Їх можна подати у вигляді матриці відстаней  $[s_{ij}]$ , де  $s_{ij}$  – відстань між об'єктами  $i$  та  $j$ . Відомі тип БпЛА та характеристики

цільового навантаження (кут поля зору камери  $\varphi$ ). БПЛА здійснює політ на фіксованій висоті  $H_з = const$ .

Необхідно прокласти такий оптимальний маршрут руху БПЛА, щоб забезпечити дослідження всіх заданих об'єктів за найменшої його протяжності  $L$ :

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n s_{ij} \rightarrow \min. \quad (1)$$

**Виклад основного матеріалу.** З розширенням кола завдань, які здатні виконувати БПЛА (моніторинг місцевості, екологічна й технічна розвідка тощо), виникає низка невирішених питань [11, 12], які потребують доопрацювання та вдосконалення. Одним із них є прокладання маршруту руху БПЛА після отримання завдання [6].

За великої кількості об'єктів дослідження (більше 40) є висока ймовірність того, що в ході знімання з БПЛА в кадр буде потрапляти декілька об'єктів одночасно. Тому ми пропонуємо використати для оптимізації маршруту руху БПЛА кластеризацію об'єктів за шириною поля зору (рис. 1) БПЛА на визначеній висоті.

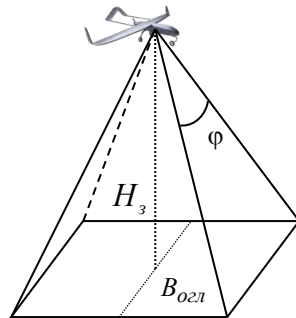


Рис. 1. Знімання з БПЛА

Ширину поля зору БПЛА  $B_{огл}$  знаходимо за такою формулою:

$$B_{огл} = 2 \cdot H_з \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right), \quad (2)$$

де  $H_з$  – висота проведення знімання.

Для подальших розрахунків за допомогою програмного забезпечення, розробленого в рамках наукових досліджень [13, 14], змодельємо польотне завдання (рис. 2).

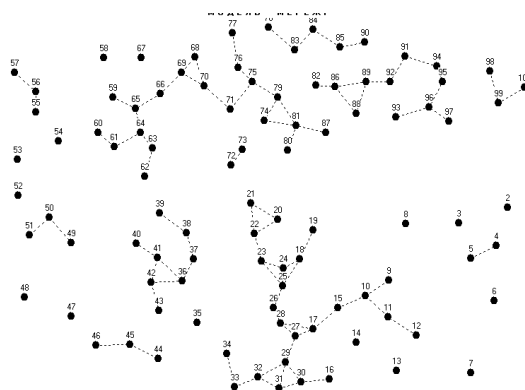


Рис. 2. Розміщення об'єктів, які необхідно дослідити

Далі запропонуємо метод кластеризації об'єктів дослідження за шириною зони огляду БПЛА на визначеній висоті.

Проведений аналіз [3, 7] показав, що серед розглянутих підходів до кластеризації об'єктів за подібними ознаками, а саме алгоритмів: STOLP, Fris-STOLP, NNDE, LVQ, FOREL, FOREL-2, K-MEANS – для вирішення поставленого завдання доцільно використати FOREL-2 та K-MEANS. Для даних алгоритмів кластеризації характерні певні недоліки: FOREL-2 має високу залежність від обрання першого об'єкта дослідження та може мати декілька рішень [7]; K-MEANS надає кращий результат за відомої кількості необхідних кластерів. Та дослідження [7] показали, що в разі поєднання даних алгоритмів зазначені вище недоліки зникають.

Тому для подальшої роботи пропонуємо провести кластеризацію об'єктів за шириною зони огляду БПЛА за допомогою модифікованого алгоритму кластеризації, який передбачає такі етапи:

на першому кроці обираємо множину об'єктів  $\mathfrak{Z} := Y$ , з усієї вибірки виокремлюємо першу точку  $y_0 \in \mathfrak{Z}$ ;

на наступному кроці визначаємо кластер  $N$  з радіусом  $\mathfrak{R}$  та центром у точці  $y_0$ :

$$N := \{y \in \mathfrak{Z} \mid \partial(y, y_0) \leq \mathfrak{R}\}, \quad (3)$$

$$\partial(y, y_0) = (y - y_0)^2; \quad (4)$$

на третьому кроці обрана точка переміщається в центр мас кластера:

$$y'_0 := \frac{1}{|N|} \sum_{y \in N} y; \quad (5)$$

четвертий крок: якщо  $y_0 \neq y'_0$ , то  $y_0 := y'_0$  та повертаємося до другого кроку;

на п'ятому кроці позначаємо всі точки  $\mathfrak{Z}$  як опрацьовані, а точку  $y_0$  – як центр кластера;

шостий крок: якщо є неопрацьовані точки, то повторюємо кроки 2–5 доти, доки всі задані точки не будуть опрацьовані.

У результаті застосування алгоритму кластеризації за шириною зони огляду БПЛА на заданій висоті отримаємо новий план розміщення об'єктів (рис. 3).

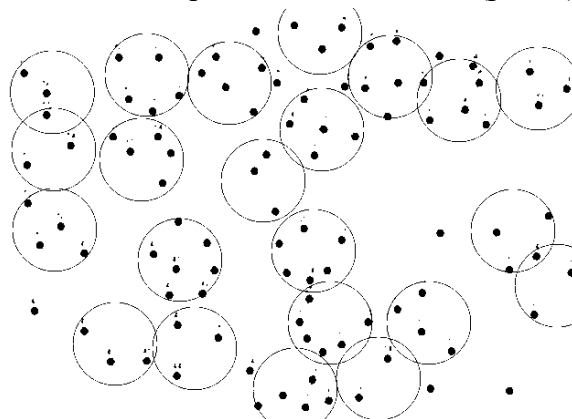


Рис. 3. Визначення кластерів за зоною огляду

Новими точками розрахунку маршруту будуть центри мас кластерів, визначених за запропонованим алгоритмом (рис. 4).

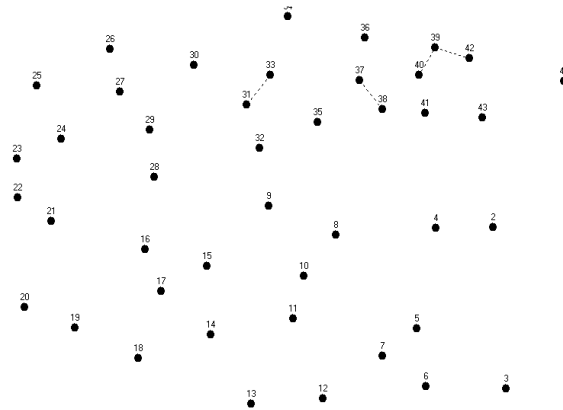


Рис. 4. Розміщення кластеризованих об'єктів

Надалі потрібно з'ясувати, яким же чином побудувати маршрут руху для БпЛА та в якій послідовності облітати об'єкти. Для вирішення даних питань застосуємо математичний апарат для розв'язання задачі комівояжера.

На сьогодні існує багато підходів до розв'язання задач даного типу [4, 5, 14]: метод найближчого сусіда, метод меж і гілок, алгоритм мурашиних колоній, метод поступок, алгоритм Літтла тощо. Дослідження основних підходів [6, 9, 13] та інтерпретація їх під умови поставленої задачі показали, що доцільно застосувати модифікований алгоритм Літтла. Як показали дослідження [13, 14], саме він у разі значного збільшення кількості точок маршруту (більше 50) надає найкращий наближений розв'язок задачі комівояжера. Ще однією перевагою даного алгоритму є швидкість обчислення. Отже, для проведення подальшої оптимізації маршруту БпЛА було обрано саме модифікований алгоритм Літтла. Розглянемо його сутність.

Маршрут БпЛА за визначеними об'єктами (точками маршруту) дослідження можна подати у вигляді зв'язного зваженого графа  $G = (V, U)$  з множиною вершин  $V$ ,  $|V| = m$ , та множиною ребер  $U$ ,  $[s_{ij}]$  – матриця відстаней (ваг ребер), де  $s_{ij} \in R_0^+$ ,  $R_0^+$  – множина дійсних невід'ємних чисел [13].

На першому кроці з матриці відстаней  $[s_{ij}]$  формується зведена матриця  $[s_{ij}]'$  шляхом зменшення кожного елемента рядка  $i$  матриці та елемента стовпця  $j$  матриці на найменший елемент рядка та стовпця  $h_i$  і  $H_j$  відповідно. У такий спосіб отримуємо зведену матрицю  $[s_{ij}]'$ , у кожному рядку та стовпці якої буде хоча б один нульовий елемент.

Наступним кроком проводимо оцінювання  $\xi(Z)$  для множини  $Z$  можливих варіантів маршрутів БпЛА (кількість таких маршрутів буде  $n!$ ). Оцінку визначаємо за формулою (6), яка включає в себе суми звідних констант  $h_i$  і  $H_j$ . Отже, жоден із можливих варіантів маршрутів не може мати оцінку, меншу за  $\xi(Z)$ :

$$\xi(Z) = \sum_i h_i + \sum_j H_j. \quad (6)$$

На третьому кроці множина  $Z$  розділяється на підмножину  $Z_1$ , яка включає в себе деяку пару вершин  $(r, t)$ , та підмножину  $Z_2$ , що не включає пари  $(r, t)$ .

Після цього визначаємо мінімальний елемент рядка та стовпця. Потім для кожного нульового елемента оцінюємо «штраф» за його невикористання за такою формулою [9]:

$$C_{pq} = \delta_p + \lambda_q. \quad (7)$$

За пару об'єктів обираємо ту, що має найбільше значення «штрафу» за невикористання в загальному маршруті  $C_{sl} = \max_{p,q} \{C_{pq}\}$ .

Четвертий крок передбачає оцінювання підмножин  $Z_1$  та  $Z_2$ . Оцінка підмножини  $Z_2$  дорівнюватиме сумі оцінок множини  $Z$  та «штрафу» за невикористання  $(r, t)$ . Для оцінювання підмножини  $Z_1$  необхідно з матриці  $[s_{ij}]$  виключити рядок  $r$  та стовпець  $t$ . Після чого потрібно замінити елементи  $(r, t)$  на знак  $(\infty)$ . Потім для отриманої матриці провести зведення та розрахувати оцінку підмножини  $Z_1$ , яка дорівнюватиме сумі оцінки множини  $Z$  та сумі зведених констант отриманої зведеної матриці:

$$\xi(Z_1) = \xi(Z) + \sum_i h'_i + \sum_j H'_j. \quad (8)$$

Для подальшої роботи обираємо ту з підмножин, яка має меншу оцінку. Після цього повертаємося до кроку 3.

Цикл повторюємо доти, доки зведена матриця не буде містити елементи, відмінні від  $(0)$  та  $(\infty)$ . У такий спосіб у підсумку отримуємо маршрут, який за протяжністю буде найкоротшим із можливих.

Отже, практично з моделюванням графів програмними засобами отримуємо результат з усіх об'єктів, які необхідно дослідити, та маємо траєкторію для руху БпЛА, найменшу за критерієм її протяжності.

Загальну протяжність такого маршруту визначаємо за виразом

$$L = \sum_{w=1}^m \sum_{u=1}^m z_{wu}, \quad (9)$$

де  $m$  – кількість отриманих кластерів та їх центрів мас відповідно;

$z_{wu}$  – відстань між центрами мас отриманих кластерів.

Практична реалізація отриманих результатів проведена на прикладі розрахунку та оптимізації маршруту для БпЛА «PD-1» на висоті польоту  $H_z = 1000$  м та для  $n = 100$  об'єктів дослідження на певній площині. Початковий маршрут, визначений за допомогою відомих підходів до планування маршруту БпЛА [1, 6], наведено на рис. 5.

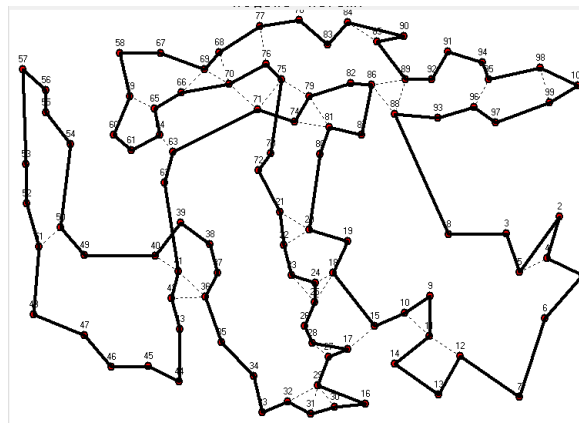


Рис. 5. Початковий маршрут для БпЛА «PD-1»

Після проведення кластеризації об'єктів (точок маршруту) запропонованим алгоритмом та оптимізації маршруту руху за допомогою пошуку найкоротшого варіанта з усіх можливих (оптимізація на графах із використанням вдосконаленого алгоритму Літгла) отримано маршрут, наведений на рис. 6.

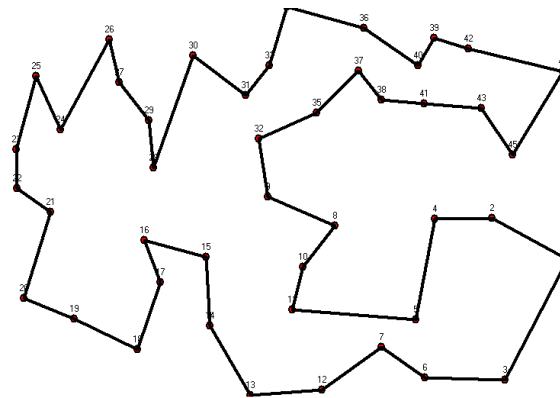


Рис. 6. Маршрут для БпЛА «PD-1», отриманий запропонованим методом

Отже, після опрацювання отриманих результатів маємо: зменшення кількості об'єктів на маршруті (точок маршруту) з  $n_1 = 100$  до  $n_2 = 44$ , що становить 56%; скорочення загальної протяжності початкового маршруту на 42%, що зумовлює зменшення затрат ресурсів на політ (економічність польоту) та його тривалості (збільшення ймовірності успішного виконання поставлених завдань та зниження ймовірності поломки БпЛА в польоті). Крім того, головним досягнутим результатом є зменшення часу отримання необхідної інформації про стан досліджуваних об'єктів, що значно підвищить оперативність виконання поставлених завдань.

**Висновки.** У статті запропоновано новий підхід до оптимізації траєкторії польоту БпЛА в ході виконання завдань із дослідження певної кількості точкових об'єктів на заданій висоті. У результаті оптимізації були поєднані два підходи, а саме кластеризація маршруту за шириною зони огляду БпЛА на заданій висоті та модифікований алгоритм Літгла, для пошуку найкоротшого маршруту з усіх можливих комбінацій. Практична оцінка отриманих результатів показала доцільність та актуальність проведення досліджень, адже результатом стало зменшення протяжності вихідного маршруту БпЛА на 42%.

Перспектива подальших досліджень полягає в програмній реалізації запропонованого способу з урахуванням специфіки поставленого завдання. Надалі пропонуємо вдосконалювати отриманий результат, зважаючи на:

1) пріоритетність об'єктів (з урахуванням поставленого завдання та забезпечення необхідної оперативності отримання інформації);

2) можливості БПЛА щодо виконання польоту за прокладеним маршрутом (порівняння загальної протяжності отриманого маршруту та тактико-технічних характеристик наявних БПЛА);

3) врахування заборонених зон (небажаних, ймовірного ураження чи високої ймовірності поломки БПЛА).

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Dolinskaya I., Maggiar A. Time-optimal trajectories with bounded curvature in anisotropic medium // *The International Journal of Robotics Research*. 2012. Vol. 12-02. P. 1–48.
2. Walker A. Hard Real-Time Motion Planning for Autonomous Vehicles // PhD thesis, Swinburne University. 2011. P. 8–28.
3. Isaacs J. T., Hespanha J. P. Dubins Traveling Salesman Problem with Neighborhoods: A Graph-Based Approach // *Algorithms*. 2013. Vol. 6. P. 84–99.
4. Миклуха В. А., Хімчик Н. О. Оптимізація траєкторії польоту безпілотного літального апарата // *Traektoria Nauki*. 2017. Vol. 3, No. 9. P. 1009–1015. DOI: 10.22178/pos.26-5.
5. Puleko I., Myklukha V., Khimchyk N. Optimization trajectory of flight pilotless unmanned aerial vehicle is with the use theory of the graphs // *Innovative solutions in modern science*. 2017. № 10 (19). P. 5–13.
6. Kamil A. Alotaibi. Unmanned Aerial Vehicle Routing In The Presence Of Threats. Arlington : The University Of Texas At Arlington. 2014. P. 12–42.
7. Гуляницький Л. Ф., Мулеса О. Ю. Прикладні методи комбінаторної оптимізації. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2016. 142 с.
8. The Strategic Research Agenda for Robotics in Europe // *Robotic Visions to 2020 and beyond*. European Robotics Technology Platform. 07/2009 (second edition). URL: [http://www.robotics-platform.eu/cms/upload/SRA/2010-06\\_SRA\\_A3\\_low.pdf](http://www.robotics-platform.eu/cms/upload/SRA/2010-06_SRA_A3_low.pdf) (last accessed: 12.12.2019).
9. Модификация метода Литтла для решения кольцевой задачи о сельском почтальоне / А. В. Морозов, А. В. Панишев, В. А. Скачков // *Штучний інтелект*. 2010. № 3. С. 103–115.
10. Харченко О. В., Кулешин В. В., Коцуренко Ю. В. Класифікація та тенденції створення безпілотних літальних апаратів військового призначення // *Наука і оборона*. 2005. № 1. С. 47–54.
11. Guillaume Ducard. Fault-tolerant Flight Control and Guidance Systems: Practical Methods for Small Unmanned Aerial Vehicles. Publisher : Springer, 2009. P. 37–58. ISBN 1848825609.
12. Randal W. Beard, Timothy W. McLain. Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice. Princeton University Press, 2012. P. 42–74. ISBN: 0691149216.
13. Левченко А. Ю., Морозов А. В., Панышев А. В. Быстрый алгоритм решения задачи о назначениях для нахождения нижней границы стоимости маршрута коммивояжера // *Штучний інтелект*. 2011. С. 406–416.
14. Левченко А. Ю., Морозов А. В., Панышев А. В. Механизм ускорения вычислений в методе Литтла для решения задач класса коммивояжера // *Штучний інтелект*. 2012. № 2. С. 95–110.



Подано 30.12.2019

**С. П. Фриз, В. А. Миклуха, Л. М. Марищук, Р. А. Авсиевич**  
**МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО**  
**АППАРАТА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАНИЙ НА ЗАДАННОЙ ВЫСОТЕ**

*Статья посвящена актуальной тематике, а именно оптимизации и усовершенствованию способов и методов планирования маршрута беспилотного летательного аппарата.*

*Проведён анализ современного состояния развития беспилотных летательных аппаратов и задач, которые на них возлагаются. Определен ряд проблемных вопросов по построению маршрута движения беспилотного летательного аппарата в зависимости от характера поставленных заданий. Установлено, какие основные тактико-технические характеристики беспилотного летательного аппарата и целевой нагрузки влияют на планирование маршрута.*

*Рассмотрены подходы к построению маршрута беспилотного летательного аппарата с использованием теории графов, проанализированы их преимущества и недостатки. Определены возможности известных способов оптимизации маршрута беспилотного летательного аппарата и выбран для дальнейшей реализации один из проанализированных алгоритмов поиска кратчайшей траектории полёта. Проанализированы методы многокритериальной оптимизации, а именно кластерного анализа, и выделены те, которые подходят для заданных условий. Среди всех алгоритмов кластеризации избраны актуальные для оптимизации полета беспилотного летательного аппарата. Предложен усовершенствованный метод, который сочетает кластеризацию (на основе алгоритмов FOREL-2, K-MEANS) и оптимизацию на графе (с использованием модифицированного алгоритма Литтла), а также способствует оптимизации маршрута беспилотного летательного аппарата по критерию его наименьшей протяженности.*

*Проведен практический расчет по усовершенствованному методу для выбранного беспилотного летательного аппарата и целевой нагрузки, показано, как изменится его маршрут по сравнению с известными методами.*

*Выделены основные полученные результаты и направления дальнейших исследований по оптимизации маршрута беспилотного летательного аппарата для решения поставленных заданий.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, маршрут, оптимизация, съемка, объект съемки, кластеризация, алгоритм Литтла.

**S. P. Friz, V. A. Miklykha, L. M. Marishchuk, R. O. Avsievych**  
**METHOD OF OPTIMIZATION THE ROUTE UNMANNED AERIAL VEHICLE**  
**DURING THE TASK AT THE HEIGHT**

*The article is devoted to the actual theme of the present, namely, optimization and improvement of methods and techniques of planning the route of an unmanned aerial vehicle.*

*In article the analysis of a modern condition of development of unmanned aerial vehicles and a circle of tasks which are assigned to them is spent. A number of unresolved tasks are*

*defined, to the construction of the unmanned aerial vehicle route depending on the nature of the tasks. It is analyzed, what main tactical and technical characteristics of the unmanned aerial vehicle and target load influence on the route planning.*

*The approaches to constructing the unmanned aerial vehicle route using graph theory were reviewed and their advantages and disadvantages were analyzed. The capabilities of known approaches to optimize the unmanned aerial vehicle route have been determined and one of the analyzed algorithms for finding the shortest route has been selected for further implementation. Multi-criteria optimization methods, namely cluster analysis, have been analyzed and those that are suitable for the given conditions have been highlighted. Among all clustering algorithms selected and proposed in the future work relevant to the optimization of unmanned aerial vehicle flight. Proposed an improved method that combines clustering (using the algorithm Forel-2 and K-MEANS) and optimization on the graph (using a modified algorithm Little`s), which optimizes the unmanned aerial vehicle flight route by the criterion of its minimum length.*

*A practical calculation of the improved method for the selected unmanned aerial vehicle and its target load has been performed and shows how the unmanned aerial vehicle route will change compared to the known methods.*

*The main results obtained and directions for further research on the optimization of the unmanned aerial vehicle route to solve the task*

**Keywords:** *unmanned aerial vehicle, route, optimization, shooting, object of shooting, clustering, Little`s algorithm.*