

# Обробка інформації в складних технічних системах

УДК 656.7

Д.І. Бондарев<sup>1</sup>, Р.Т. Джафарзаде<sup>2</sup>, А.М. Козуб<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ

<sup>2</sup> Національна академія авіації, Азербайджан, Баку

<sup>3</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ГРУПОВИХ ПОЛЬОТІВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

У статті пропонується аналіз варіантів структур побудови груп безпілотних літальних апаратів при виконанні колективних завдань. Встановлено, що основою для їх побудови є мережна структура, характерна для багатокористувацьких інформаційних систем. Розглядається також внутрішня архітектура побудови елемента групи, яка забезпечує виконання завдань за призначенням. Вводиться узагальнений показник якості системи моніторингу, компонентами якого є затримка, втрата, повнота й вірогідність інформації, аналізується їх вплив на характеристики системи залежно від апаратної реалізації.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, людина-оператор, безпілотна авіаційна система, груповий політ, нейронна мережа, база даних, топологія мереж.

### Вступ

Розробка безпілотних авіаційних комплексів (БАК) на основі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) проводиться в цей час фактично всіма індустріально розвиненими країнами світу. Застосування БАК ефективно як у завданнях розвідки, так і в цивільній авіації, а саме при боротьбі з наслідками надзвичайних ситуацій і стихійними лихами, і сільському господарстві, аерофотозйомці, ретрансляції зв'язку, тощо. Основним напрямком розробки БАК до останнього часу вважалася багатозадачність (багатоцільове використання), наприклад, ведення контролю стану й охорони лісів і нерестовищ, льодової розвідки й т.п. Однак, у силу обсягу запланованих завдань, що покладені на окремий літальний апарат, вони не можуть бути виконані в обмежений час і тому для цих цілей доцільне використання групове застосування БПЛА. Низка питань колективної (групової) дії автономних повітряних об'єктів розглядається в [4]. Відзначені додаткові корисні властивості, якими володіє група БПЛА в порівнянні з використанням одного БПЛА [4].

Більшість робіт, у яких вивчаються групові дії БПЛА, орієнтовані на основну монографію [2], у якій з використанням підходів класичної теорії керування розглядаються питання керування групою, організованою у вигляді «строю», що припускає роздільне подання руху окремого об'єкта групи математичною моделлю для бічного й поздовжнього руху центру мас. При цьому об'єктивно виникає завдання

розробки деякого «оптимального» маршруту для групи і її окремих елементів.

Ряд дослідницьких робіт присвячується рішення завдання планування маршруту як одного БПЛА, так і всієї групи БПЛА. Ці роботи включають методологію побудови діаграм Воронова [4], побудова маршруту БПЛА за опорними точками [5]. Основна мета побудови маршруту впорядкованого руху ЛА спрямована на забезпечення безпеки руху групи, яка забезпечується підтримкою обраних дистанції й швидкості руху окремих елементів групи [6 – 8].

У роботах [9 – 12], досліджується багатокомпонентна група, що складається із БПЛА вертолітного й літакового типів, що має складний характер інформаційного обміну за рахунок застосування каналів керування польотом, операторського каналу, а також взаємодії автономних елементів системи між собою. В [13, 14] показано недоцільність застосування класичної теорії керування для таких завдань. Труднощі, з якими зустрічаються розробники систем керування стосовно до групи БПЛА різних типів описані в [15 – 17].

Для подолання труднощів застосування класичної теорії керування використано ідею застосування системи керування на основі поведінкових реакцій з використанням нейронних мереж, яка належить Бруксу [9] та групі Montgomery [10].

Багаторівнева система керування, розроблена Montgomery, припускає, що на вищому рівні вирішуються довгострокові завдання, що виникають перед БПЛА: рух по заданій траєкторії, забезпечен-

ная необхідної орієнтації в просторі при проходженні по заданій траєкторії і т.п. Середній рівень системи керування забезпечує необхідні “модулі” для виконання високорівневих команд, які забезпечують ряд “елементарних” маневрів, виконуваних вертольотом: перехід на нову необхідну висоту, забезпечення необхідної просторової орієнтації вертольота й т.п. Нижній рівень керування відповідає за забезпечення виживання безпілотної машини шляхом дуже швидкого реагування на зовнішні впливи при втриманні вертольота в режимі зависання.

Описана структура організації групи БПЛА виявила наступні недоліки: складність розподілу завдань між оператором польоту, і елементами групи БПЛА; недостатня оперативність при розв'язку завдань патрулювання, пошуку й ретрансляції в запропонованій зоні; необхідність опису охоронюваної зони опорними точками (координатами GPS); обмеженість тривалості маршруту групи БПЛА; автоматичний перерозподіл (дублювання) завдань усередині групи БПЛА з появою надзвичайної ситуації в межах патрулюваної зони; необхідність збільшення тривалості патрулювання при дії групи БПЛА.

Метою роботи є дослідження структур системи моніторингу за допомогою групи БПЛА, що забезпечує контроль обстановки в зоні патрулювання; виявлення й локалізацію надзвичайної ситуації, такої як, наприклад, лісова пожежа; видача інформації на пункт керування шляхом патрулювання зони, виконуваною групою БПЛА; аналіз ефективності топології групи БПЛА; розроблення бази даних БПЛА для системи моніторингу.

### Постановка завдання

Задана область довільної форми площею  $S$ , віддалена від пункту керування на дальність  $R$ . Область характеризується тим, що в ній можливе виникнення надзвичайних ситуацій, на які потрібно вчасно реагувати з метою зменшення завдання збитків. До таких неприпустимих ситуацій відносяться, наприклад, лісова пожежа, повінь і інші стихійні лиха. Область контролюється групою БПЛА, основне завдання якої моніторинг стану патрулюваної зони, своєчасне виявлення неприпустимої ситуації, визначення її характеристик, попередня оцінка наносимого збитку.

Вважається, що кожний елемент групи БПЛА в ході виконання завдання здатний змінити маршрут руху, зону патрулювання, передавати інформацію про результати спостереження, реагувати на сигнали пункту керування. Зрозуміло, що система керування кожного елемента групи для рішення поставленого завдання повинна мати у своєму складі підсистеми приймання-передачі інформації, керування рухом, моніторингу місцевості й розпізнавання неприпустимої ситуації. У якості показників такої системи БПЛА вибираються показники якості одержуваної

інформації: затримка інформації  $T$ , втрата  $L$ , повнота  $V$  і вірогідність  $P$ .

При функціонуванні система моніторингу повинна забезпечити задану ефективність  $E_{\text{доп}}$  шляхом задоволення критерію:

$$E(T, L, V, P) \leq E_{\text{доп}}, \quad (1)$$

при  $T \rightarrow \min, L \rightarrow \min, V \rightarrow \max, P \rightarrow \max$ ,

де  $E(\cdot)$  – деяка функція, що характеризує інформаційну здатність системи.

Таким чином, ставиться завдання розроблення структури системи моніторингу, що забезпечує контроль обстановки в зоні патрулювання, виявлення й локалізацію неприпустимої ситуації, видачу інформації на пункт керування шляхом патрулювання зони, виконуваною групою БПЛА й визначення факторів, що впливають на ефективність (1).

### Типові варіанти структур

Зона патрулювання площиною  $S$  в інтересах рішення завдання розбивається на  $n$  - підзон приблизно рівної площі, тобто

$$S_i = S / n, \quad (2)$$

де  $i = \overline{1, n}$ ,  $n$  – кількість БПЛА в групі.

У випадку такої організації кожний елемент групи виконує ті самі функції, але в різних підзонах  $S_i$ . Вважаємо, що споживачем інформації є пункт, звідки проводиться старт БПЛА. Тоді функції пункту керування можуть бути розширені, і складатися з розподілу зон між елементами групи, визначення маршруту руху окремого елемента групи, видачі команд керування, зв'язку із зовнішніми системами.

Функції елемента групи полягають у наступному: проходження по маршруту, орієнтація в просторі, фіксація неприпустимої події, видача повідомлень про результати моніторингу.

Спрощений вид структури можна представити на рис. 1.

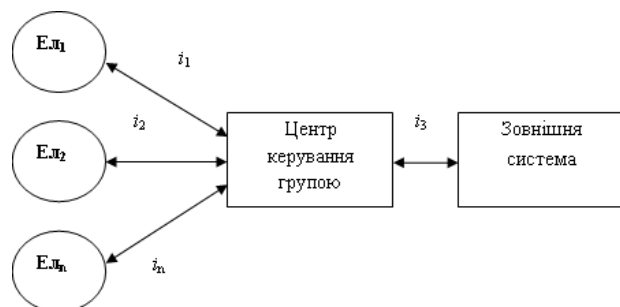


Рис. 1. Спрощена структура системи із групою БПЛА

Структура на рис. 1 має мережеву організацію із централізованим керуванням. При цьому від елементів групи надходить по каналах зв'язку на пункт керування оперативна інформація  $i_1, \dots, i_n$ . Пункт керування має додатковий канал зв'язку із зовнішні-

ми системами, який видає інформацію  $i_3$  для організації дій додаткових засобів.

Враховуючи мережевий характер структури можливо припустити також, що група БПЛА буде мати більш складну – деревоподібну структуру, у якій елементи групи  $Ел_1, Ел_2, \dots, Ел_n$  замикаються на кореневий елемент  $Ел_0$ , як показано на рис. 2.

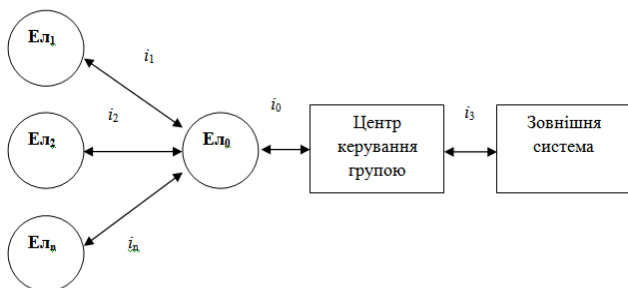


Рис. 2. Деревоподібна структура групи БПЛА

У цьому випадку значна частина завдань оперативного керування групою покладається на елемент  $Ел_0$ , тобто в такий спосіб може бути розвантажений центр керування групою, який буде вирішувати тільки підготовчі завдання польоту й трансляцію інформації  $i_0$  на зовнішні системи.

Слід зазначити, що структури, представлені на рис. 1, 2 є практично ідентичними, доцільність застосування тієї або іншої структури буде визначатися тільки характеристиками відстані каналу зв'язки, кількісним складом групи та живучості групи. Очевидно, що відстаневі показники структури з деревоподібною структурою вище, ніж у структурі, що наведена на рис.

Однак, керування кількісним складом краще в структурі, показаної на рис. 1, за рахунок виключення проміжного елемента керування. Близькість структур рис. 1 і 2 дозволяє зробити висновок про застосовність апарата нейронних мереж до визначення сигналу  $i_3$ , рис. 1 ( $i_0$ , рис. 2), тобто вихідний сигнал мережі можна представити у вигляді

$$i_0 = \begin{cases} 1, & \text{якщо } I(ел) > T, \\ 0, & \text{якщо } I(ел) \leq T, \end{cases} \quad (3)$$

де  $I(ел)$  – так звана активаційна (вирішальна) функція, сигмоїдального виду, що дозволяє класифікувати неприпустимі ситуації, а  $T$  – граничне значення для їх визначення.

Математично активаційна функція може бути записана у вигляді

$$I(ел) = 1 / \left( 1 + \exp \left( - \sum_{i=1}^n k_i \cdot ел_i \right) \right),$$

де  $k_i$  – вагові коефіцієнти.

Слід зазначити про доцільність застосування ще однієї структури, яка також впливає з рис. 1 та 2, якщо припустити можливість обміну інформацією

між елементами групи, рис. 3. У цьому випадку структура рис. 3 здобуває властивості мультиагентної системи [12], роботу якої можна звести до вирішення двох основних завдань:

- визначення точного місцезнаходження групи БПЛА і ступеня виконання завдання на основі загальних даних групи;
- визначення кращого сценарію для кожного агента для виконання завдання групою.

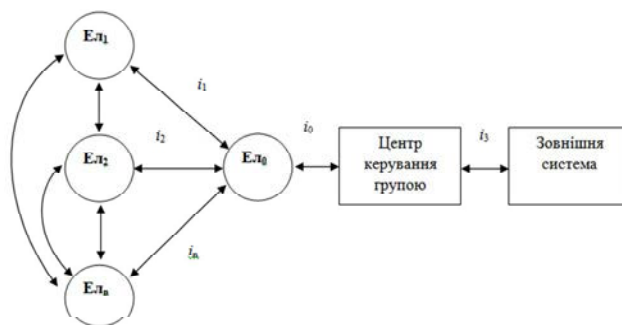


Рис. 3. Структура мультиагентної групи БПЛА

Розглянуті структури мають мережеву архітектуру, їх застосування обґрунтовується важливістю розв'язуваних завдань. Найбільш перспективною серед розглянутих вважається структура мультиагентної групи БПЛА.

### Внутрішня архітектура системи керування

Внутрішня архітектура системи керування елемента групи може бути побудована як і в [18] на основі поведінкових реакцій (Behavior-Based Architecture), яка має подання структури керуючого алгоритму багатоканальної системи керування у вигляді сукупності щодо простих і по можливості мінімально зв'язаних один з одним обчислювальних модулів, які формують поведінкові реакції за допомогою систем керування високого середнього та низького рівня. Кожна поведінкова реакція відповідальна за розв'язок конкретного управлінського завдання. Архітектура системи керування з використанням тривірневої системи керування наведена на рис. 4.

Архітектура системи керування такого роду фактично являє собою опис структури інформаційних зв'язків між різними контурами керування (поведінковими реакціями), визначається на етапі проектування і є жорстко фіксованою. Кожна реакція відповідає за конкретне завдання керування. Ці завдання виконуються паралельно й мають своєю метою забезпечити виконання завдання, поставлене перед елементом групи. Підсистеми керування формують поведінкові реакції, які структуруються введенням багаторівневої системи. Рівні класифікуються швидкостями виконання поведінкових реакцій. Відповідно до такої побудови системи різні поведінкові реакції можуть використовувати показання з

тих самих датчиків і, відповідно, відхилення, які являють собою різницю між поставленою для поведінкової реакції ціллю й реальним станом об'єкта керування, працюють паралельно по кожному з каналів. Поточний стан об'єкта керування оцінюється за показниками датчиків, які можуть використовуватися поведінковими реакціями різних рівнів. Цілі поведінкових реакцій представляють у вигляді опису необхідних траєкторій системи в просторі станів.

Відповідно до такої побудови системи різні поведінкові реакції можуть використовувати показання з тих самих датчиків і, відповідно, відхилення, які являють собою різницю між поставленою для поведінкової реакції ціллю й реальним станом об'єкта керування, працюють паралельно по кожному з каналів. Поточний стан об'єкта керування оцінюється за показниками датчиків, які можуть використовуватися поведінковими реакціями різних рівнів. Цілі поведінкових реакцій представляють у вигляді опису необхідних траєкторій системи в просторі станів.

На вищому рівні вирішуються довгострокові завдання, що виникають перед БПЛА: рух по заданій траєкторії, забезпечення необхідної орієнтації в просторі при проходженні по заданій траєкторії й т.п.

Ці завдання формулюються на основі команд, що надходять із центрального пункту керування або оператора польоту, а також на основі поточних показань датчиків (стан літального апарату).

Середній рівень системи керування забезпечує необхідні "модулі" для виконання високорівневих команд, які призначені для виконання ряду "елементарних" маневрів, виконуваних БПЛА: перехід на нову необхідну висоту, забезпечення необхідної просторової орієнтації й т.п.

За видачу команд виконавчим механізмам системи керування відповідальні низькорівневі поведінкові реакції. Низькорівневі поведінкові реакції відповідальні за контури керування, що вимагають "швидких" реакцій, які й називаються рівнем рефлексів, тому що цей контур керування відповідає за стабілізацію БПЛА у фізичному просторі, і від швидкості реакцій на виникаючі зовнішні збурювання.

### Фактори, що впливають на інформативність

Аналіз функціонування системи, рис. 1, 2, дозволяє виділити основні фактори, що визначають

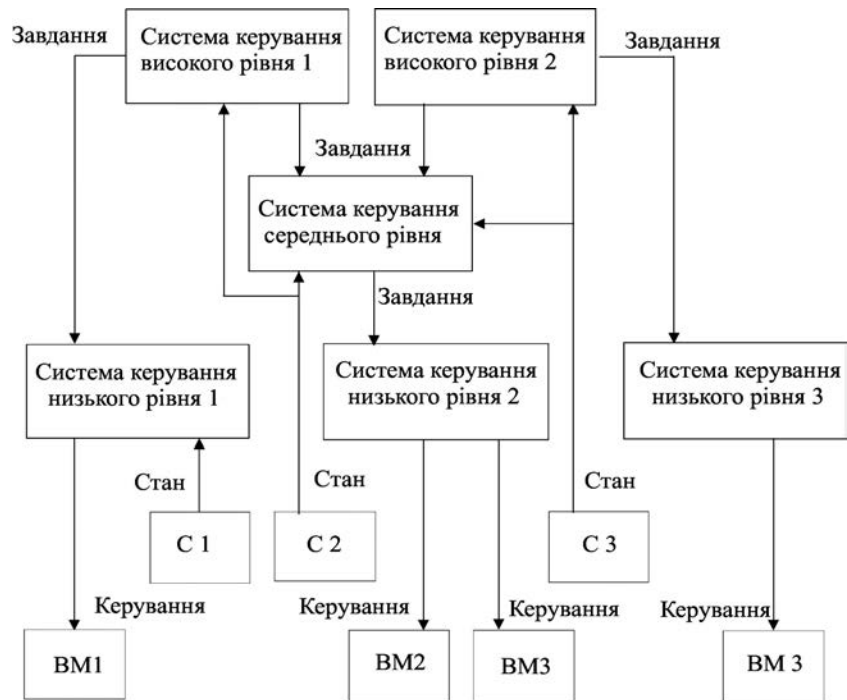


Рис. 4. Реалізація системи керування одного елемента

критерій (1). Затримки інформації  $T_3$  (с) визначаються часовими затримками через необхідність руху по маршруту до зони патрулювання, через особливості передачі повідомлень, через необхідність прийняття рішень. Вводимо позначення  $T_{дв}$ ,  $T_{пе}$ ,  $T_{пр}$ , тоді вираз загальної інформаційної затримки має вигляд

$$T_3 = T_{дв} + T_{пе} + T_{пр} \quad (3)$$

Найбільший внесок у вираз (3) становить  $T_{дв}$ , при проведенні попередніх розрахунків складовими  $T_{пе}$  й  $T_{пр}$  можна зневажити, тобто прийняти, що  $T_3 \approx T_{дв}$ .

Мінімізацію затримки слід робити шляхом оптимізації маршруту руху.

Кількість інформації  $I$  (вимірюється в бітах) визначається бінарною логарифмічною функцією

$$I = \log_2(1/P_k),$$

де  $P_k$  – імовірність появи повідомлення  $k$ , величина  $P_k$  приймає значення від 0 до 1.

Можливість виміру кількості інформації, яка може передана (у біт/с) через який-небудь канал при наявності сигналу певного рівня  $S$  і шуму  $N$  є важливим аспектом терміна «інформація». Для виміру її кількості використовується теорема Шеннона-Хартли [19]:

$$C = B \log_2(1 + S/N),$$

де  $B$  – смуга пропускання каналу (Гц).

Втрати інформації  $L$  (дБ) по тракту проходження інформації будемо розрізняти на апаратні  $L_{ап}$ , пов'язані з одержанням інформації, втрати, зв'язані із середовищем поширення  $L_{сп}$ , втрати пов'язані з обробкою інформації  $L_{об}$ .

Тоді загальний вираз інформаційних втрат у системі має вигляд

$$L = L_{\text{ап}} + L_{\text{сп}} + L_{\text{об}}. \quad (4)$$

Мінімізація складових в виразі (4) забезпечується виходячи з досвіду застосування сучасних обчислювальних засобів і відповідного методичного апарата.

Повноту інформації  $V$  слід визначати кількістю переданих повідомлень  $V_i$  від окремих елементів мережі

$$V = \sum_{i=1}^n V_i. \quad (5)$$

Значення  $V_i$  у формулі (5) визначається типом інформації й застосовуваною апаратурою. Сучасні системи зв'язку дозволяють забезпечити цифровий потік 100 МБ/с та більше, що дозволяє будувати повідомлення у вигляді кадру з метою подальшого рішення завдання моніторингу й приймання рішень на його основі.

Вірогідність переданої інформації  $P_i$  визначається методом одержання інформації й імовірністю правильності переданого повідомлення  $p_i$  окремого джерела

$$P_i = 1 - (1 - p_i)^m, \quad (6)$$

де  $m$  – число підтверджень переданого повідомлення.

Крім факторів, що впливають на інформативність роботи групового польоту БПЛА, визначено основні показники ефективності топології багатокomпонентних груп БПЛА:

- надійність керування,
- структурна компактність,
- ступінь централізованості,
- живучість групи

за допомогою відомих методів аналізу комп'ютерних мереж в інформаційних технологіях.

Окремі показники інформативності одиничних і групових польотів БПЛА, ефективності різноманітних топологій БПЛА, характеристики сучасних БПЛА відповідно до розробленої класифікації цивільних і військових БПЛА [21], а також нормативна база БПЛА увійшли в довідкову базу даних «Інформаційно-довідкова система безпілотних літальних апаратів».

## Висновки

Таким чином, у завданнях створення систем керування груповою поведінкою БПЛА доцільно орієнтуватися на мережеву основу. Розроблення таких БАК служить генератором ряду прикладних завдань, рішення яких опирається на сучасні досягнення в області побудови інформаційних систем.

Запропонований підхід до побудови системи керування в значній мірі дозволить усунути недоліки існуючих технічних розв'язків. Подальші дослідження слід направити на розв'язок практичних за-

вдань реалізації групового управління при керуванні БПЛА, що призводить до підвищення ефективності використання БПЛА, а саме:

можливість коригування плану та оптимізації маршруту польоту, ґрунтуючись на вже отриманих даних з інших БПЛА;

збільшення вірогідності успішності виконання задачі;

значний виграш у часі;

можливість одночасного обстеження території та збільшення площі одночасного моніторингу;

можливість постановки різних завдань для багатокomпонентних учасників групи БПЛА з урахуванням ефективності топології груп.

## Список літератури

1. Кунцевич В.М. Некоторые задачи управления групповым движением подвижных роботов / В.М. Кунцевич // Проблемы управления и информатики. – №1. – 2012. – С. 5-18.
2. Фрадков А.Л. Децентрализованное адаптивное управление синхронизацией сетей динамических систем при ограниченных возмущениях / А.Л. Фрадков, Г.К. Григорьев // Автоматика и телемеханика. – №5. – 2013. – С. 137-155.
3. Морозов Ю.В. Модификация и сравнительный анализ гладких законов управления группой агентов / Ю.В. Морозов // Автоматика и телемеханика. – №11. – 2012. – С. 96-113.
4. Адаптивное управление автономной группой беспилотных летательных аппаратов / К.С. Амелин, Е.И. Антал, В.И. Васильев, Н.О. Граничина. – СПб.: СПбГУ, 2013. – 10 с.
5. Боднер В.А. Системы керування літальними апаратами / В.А. Боднер - М.: Машиностроение, 1973. – 506 с.
6. Козуб А.Н. Интеграционный подход к задаче выбора маршрута группы БПЛА / А.Н. Козуб, Д.П. Кучеров // Искусственный интеллект. – № 4 (62). – 2013. – С. 333-343.
7. Козуб А.М. Планирование маршрута БПЛА / Кучеров Д.П., Козуб А.М. // Вісник СУНУ ім. В. Даля. – Луганськ: СУНУ, 2013. – № 5 (194). – С. 189-192.
8. Kozub A.N. Path planning unmanned aerial vehicles in complex flight conditions. / A.N. Kozub, D.P. Kucherov // XI Международная конференция «Контроль и управление в сложных системах» (КУСС – 2012). – Винница: ВНТУ. – 9–11 октября 2012 г. – С. 179.
9. Степанян К.В. Планирование траектории БПЛА в сложных условиях при наличии угроз [Электронный ресурс] / К.В. Степанян, А.Б. Миллер, Б.М. Миллер // Материалы 33-й конференции молодых ученых и специалистов ИППИ РАН «Информационные технологии и системы» (ИТИС"10) 20-24 сентября 2010, Россия, Геленджик, С. 263-268. – Режим доступа: <http://www.itas2010.itp.ru/pdf/1569326822903.pdf>.
10. Brooks R.A. A robust layered control system for air-mobile robot / R.A. Brooks // IEEE Journal Robotics and Automation. – № 2(1). – 1986. – P. 14-23.
11. Montgomery J.F. Learning helicopter control through "teaching by showing" / J.F. Montgomery, G.A. Bekey // IEEE Conference on decision and Control, 1998.
12. Каляев И.А. Стайные принципы управления в группе объектов / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук // Мехатроника, автоматизация, управление, №2, 2004. – С. 29–33.
13. Marsh L. Multi-Agent UAV Path Planning / L. Marsh, G.Calbert, J. Tu, D. Gossink, H. Kwok // I Defence

Science and Technology Organization, Australia, 2005. – P. 2188 – 2194.

14. Капустян С.Г. Метод оптимального распределения целей в коллективе роботов / С.Г. Капустян, Л.Ж. Усачев, С.В. Стоянов // Информационные технологии. – 1998. – № 4. – С. 29-34.

15. Каляев И.А. Распределение системы планирования действий коллективов роботов / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян. – М.: Янус-К, 2002. – 292 с.

16. Kucherov D.P. Modeling traffic in control problems of robotic systems / D.P. Kucherov // Proceedings the Fifth world congress “Aviation in XXI-st century”, September 25-27, 2012, Vol. 1, Kyiv, 2012. – P. 1.9.18-1.9.21.

17. Козуб А.М. Алгоритм терминального управления системы третьего порядка с тремя нулевыми полюсами в условиях ограниченных помех / А.М. Козуб, Д.П. Кучеров // Тенденции развития естественных и математических наук. Сб. научн. тр. – Н-ск: СибАК, 2013. – С. 31-42.

18. Кучеров Д.П. Методы синтеза адаптивных систем терминального управления / Д.П. Кучеров. – Saar-

brücken, Deutschland: Lap Lambert Academic Publishing, 2013. – 325 с.

19. Ali K.S. Multiagent Teleautonomous Behavioral Control / K.S. Ali, R.C. Arkin // Machine Intelligence and Robotic Control. – 2000. – Vol. 1, № 2. – P. 3-10.

20. Дослідження та використання космосу. Сьогодні й завтра / За ред. Берндта Феєрбахера та Хайнца Стоевера. – К.: Академ-періодика, 2012. – 564 с.

21. Бондарев Д.І. Впровадження та застосування безпілотної авіації в аеронавігаційній системі України / Д.І. Бондарев, О.С. Стасюк // Матеріали XIV міжн. наукової конф. студентів та молодих учених “Політ-2014. Сучасні проблеми науки.” – Київ, 2-3 квітня 2014 р. – К.: НАУ, 2014.

Надійшла до редколегії 2.06.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К.С. Сундучков, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ.

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГРУППОВЫХ ПОЛЕТОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Д.И. Бондарев, Т.Р. Джафарзаде, А.Н. Козуб

В статье предлагается анализ вариантов структур построения групп беспилотных летательных аппаратов при выполнении коллективных задач. Установлено, что основой для их построения является сетевая структура, характерная для многопользовательских информационных систем. Рассматривается также внутренняя архитектура построения элемента группы, обеспечивает выполнение задач по назначению. Вводится обобщенный показатель качества системы мониторинга, компонентами которого являются задержка, потеря, полнота и достоверность информации, анализируется их влияние на характеристики системы в зависимости от аппаратной реализации.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, человек-оператор, беспилотная авиационная система, групповой полет, нейронная сеть, база данных, топология сетей.

### EFFICIENCY OF UNMANNED AERIAL VEHICLE'S GROUP FLIGHTS

D.I. Bondarev, T.R. Jafarzade, A.N. Kozub

This article offers an analysis of options for constructing structures groups of UAVs in the performance of collective tasks. Found that the basis for constructing them in a network structure, which is characteristic for multi-user information systems. We also consider the construction of the internal architecture of a Group provides tasks for other purposes. , A generalized indicator of quality monitoring system whose components are the delay, loss, completeness and accuracy of information, analyzes their impact on the performance of the system depending on the hardware implementation.

**Keywords:** unmanned aircraft vehicle, the human operator, unmanned aircraft systems, formation flight, neural network, database, network topology.