

**БЕЗДРОТОВИЙ МЕТОД КЕРУВАННЯ ВІДКЛЮЧЕННЯМ ПРИСТРОЇВ
НА БОРТУ БПЛА З ОБМЕЖЕНИМИ ЕНЕРГОРЕСУРСАМИ****І. М. Журавська***Чорноморський національний університет імені Петра Могили*

Анотація. Дослідження присвячене проблемі економії обмежених енергоресурсів безпілотних апаратів (БПЛА). Запропонований метод формування кластерів БПЛА з бездротовим відключенням неперіоритетних пристроїв на борту підпорядкованих дронів. Розроблений алгоритм почергового підключення до енергоживлення аналогічних пристроїв на борту різних БПЛА одного кластеру. Проведене натурне моделювання на платформі Arduino.

Ключові слова: БПЛА, зграя, кластер, пріоритетний пристрій, економія заряду акумулятора, Arduino, Bluetooth-модуль.

Вступ

На теперішній час в різних технологіях все ширше використовуються пристрої в умовах обмеженої потужності енергоресурсів. Одними з таких є безпілотні літальні апарати (БПЛА або дрони), які на сьогоднішній день випускаються більше 70 країнами для потреб армії, поліції, служб порятунку, сільського господарства й т. д.

Актуальним є питання збільшення часу функціонування дрону у польоті без збільшення ваги автономних джерел електроживлення на борту БПЛА.

Треба зазначити, що максимальний час польоту БПЛА обмежується не тільки технічними характеристиками встановлених акумуляторних батарей, але й інтенсивністю енергоспоживання комп'ютерними компонентами на борту БПЛА. Ситуація ускладнюється, коли БПЛА виконує не суто особисте завдання, а діє у складі зграї, що потребує додаткових витрат енергії на спілкування членів такої зграї між собою та координації групового руху.

Можна припустити, що певного прогресу в економії обмежених енергоресурсів БПЛА при взаємодії між комп'ютерними компонентами головного БПЛА (БПЛА-Г) та підпорядкованих (БПЛА-П) можна досягнути встановленням з'єднання та обміну інформацією безпосередньо між пристроями, без зовнішнього втручання їх власника (наземного командного центру – КЦ).

Перевищення нормативного енергоспоживання може спричинити критичну ситуацію для рухомих об'єктів – падіння або вимушену посадку на чужій території.

Для запобігання критичним ситуаціям необхідно, по-перше, логічно розділити пристрої, що

живляться від електросистеми обмеженої потужності, на пріоритетні та неперіоритетні. По-друге, доцільно розробити метод керування відключенням неперіоритетного навантаження від джерела електроживлення.

1. Постановка задачі

Оскільки сенсори БПЛА працюють переважно від джерела живлення з обмеженим ресурсом енергії (зазвичай акумулятор), особливої актуальності набуває завдання щодо зменшення витрат на енергоспоживання. Чим рідше будуть замінюватися або заряджатися акумулятори, тим нижчу вартість буде мати їх обслуговування й довше буде час життя зграї БПЛА у повітрі.

Суттєву частку енергії автономного джерела електроживлення БПЛА споживає його електронно-оптична система (ЕОС).

Наприклад, на обслуговування електронного устаткування БПЛА RQ-4 Global Hawk, який за класифікацією дронів належить до великих або до 3-го класу [1, 2], витрачається 6 кВт електроенергії при загальній потужності генераторної установки 30–90 кВт [3, 4].

А тільки одна 2–20 мегапіксельна камера на базі CMOS-матрицею з роздільністю 1К–4К на борту малого БПЛА 1-го класу (DJI Phantom, Blade Chroma, Yuneec Typhoon, Walkera QR й т. п.) потребує на 30 хв польоту від 5 до 9 Вт при енергії літій-полімерного акумулятора біля 90 Вт•год [5–8].

Тобто, незалежно від розміру та ваги БПЛА, його ЕОС споживає від 7 до 20 % заряду акумуляторної батареї. Тому доцільно розробити метод керування підключенням компонентів ЕОС до автономного джерела обмеженої потужності, який буде ефективним та може використовуватись для всіх класів БПЛА.

© Журавська І. М., 2018

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Безперечно, обчислювач БПЛА (CPU), датчики запобігання зіткненням (ДЗ) та система керування двигунами (СК) мають бути постійно підключені до автономного джерела електроживлення БПЛА. Тому в дослідженнях для зменшення енергоспоживання пропонують відключення передавачів БПЛА, коли немає необхідності в передачі інформації [9].

Але саме формулювання «немає необхідності» може стати причиною виникнення критичної ситуації, якщо під час відключення модуля зв'язку (МЗ) на дроні, з наземного КЦ на дрон передаються зміни маршруту або погодних умов, інформація про несподівані перешкоди тощо.

Зважаючи на висловлене, в новому українському БПЛА «Лелека» реалізований режим, коли приймач на борту включений постійно, а передавач дистанційного включається та відключається наземним оператором [10].

Такий підхід суттєво покращує ситуацію взаємодії наземних операторів з поодинокими БПЛА, але є неприйнятним при організації їх у зграю, розмір якої, з урахуванням світового досвіду, може становити від 119 (за технологією «інтелектуального рою») до 1218 (з централізованим керуванням) дронів у зграї [11, 12].

Доцільно відмовлятися від ручного принципу керування, якщо навіть невелика кількість дронів – але різних виробників та з різними функціями – виконують завдання одночасно і на тій самій території [13].

Виробниками БПЛА також визнано, що у змаганні між використанням новітніх хмарних технологій для збереження інформації з дронів (з супутнім перевитрачання енергії на передачу даних у «хмару») та економією заряду батареї перевагу все ж слід віддати енергозбереженню та подовженню часу польоту БПЛА [14].

3. Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Після вивчення і дослідження аналогічних систем було з'ясовано, що немає наявних методів та засобів економії ресурсу автономного джерела енергії на БПЛА, завдяки яким можливо було б суттєво збільшити час польоту зграї дронів за рахунок алгоритмізованого почергового підключення компонентів БПЛА до електроживлення.

Метою роботи є дослідження та розробка методу та засобів бездротового керування підключенням пристроїв головного та підпорядкованих БПЛА зграї до джерела електроживлення обмеженої потужності на борту кожного БПЛА.

Для досягнення мети у роботі мають бути розв'язані такі задачі:

- побудована блок-схема алгоритму, що реалізує запропонований метод;
- розроблене апаратне рішення для можливості відключення неперіоритетного пристрою через локальну бездротову мережу;
- розроблене програмне забезпечення (ПЗ), що дозволяє автоматизувати процес почергового підключення пристроїв до наявних джерел електроживлення обмеженої потужності.

4. Виклад основного матеріалу

4.1. Опис методу почергового підключення аналогічних компонентів різних БПЛА зграї до електроживлення від батареї

В основу методу покладено те, що при виконанні моніторингових, рятувальних та ін. функцій з використанням зграї БПЛА у визначеній частині території доцільно використовувати відповідні пристрої лише одного апарату, який назовемо БПЛА-Г (рис. 1). В залежності від типу виконуваного завдання, в такому апараті будуть задіяні різні компоненти ЕОС, такі як цифрова камера (ЦК), різноманітні датчики моніторингу ДМ-1...ДМ-Q або ін.

Зазначений БПЛА-Г буде головним вузлом утвореного кластера бездротової мережі, яка складається з усіх БПЛА зграї.

В розробленому методі формування кластерів відбувається таким чином:

Головні вузли кластеру визначаються на КЦ з числа БПЛА, які мають найбільш енергоємний акумулятор.

Належність підпорядкованих вузлів даному кластеру визначаються головним БПЛА-Г такого кластера за результатами виявлення пристроями ЕОС головного БПЛА сусідніх БПЛА-П.

Зважаючи на те, що функції, які виконуються БПЛА на сегменті території, достатньо жорстко прив'язані до GPS-координат, немає сенсу одночасно виконувати завдання з використанням аналогічних компонентів декількох БПЛА, які знаходяться один від одного на відстані, співмірній з похибкою GPS-координат. На теперішній час похибка визначення GPS-координат трекерами, призначеними для цивільних БПЛА, складає $\delta_{max}=[10...15]$ м [15]. Точність для БПЛА 0-го та 1-го класів зростає тільки при використанні двох або більше навігаційних систем (GPS, ГЛОНАСС та ін.) одночасно або завдяки спеціалізованим методам, розрахованим на обладнання відповідної вартості. В такому разі похибка зменшується до $\delta_{min}=[4...10]$ м [16].

Виходячи з цього, доцільно визначити пріоритетним пристроєм ЦК або ДМ, встановлені на борту БПЛА-Г. Тоді аналогічні пристрої на борту БПЛА-П-1...БПЛА-П-R (див. рис. 1) вважаються непріоритетними, їм треба надіслати сигнал на тимчасове відключення непріоритетного пристрою. Таким чином забезпечується економія заряду батареї БПЛА-П.

Або після закінчення виконання завдання пріоритетним блоком на борту БПЛА-Г, або у разі, якщо відстань до r -го БПЛА-П $d_r \rightarrow \delta$, і він має бути виключеним з p -го кластеру, до такого

$$d_p = \sqrt{(lat_{\text{БПЛА-Г-Р}} - lat_{\text{КЦ}})^2 + (lon_{\text{БПЛА-Г-Р}} - lon_{\text{КЦ}})^2 + h_{\text{БПЛА-Г-Р}}^2}, \quad (1)$$

де $lat_{\text{БПЛА-Г-Р}}$, $lon_{\text{БПЛА-Г-Р}}$ та $h_{\text{БПЛА-Г-Р}}$ відповідно координати широти, довготи та висоти польоту головного вузла (БПЛА-Г) p -го кластеру;

БПЛА-П-R надсилається сигнал на включення непріоритетних пристроїв.

В межах кластеру БПЛА-Г та всі БПЛА-П, обмінюються нейронною картою з відміченими обстеженими точками місцевості [17]. Інформація до КЦ про дії кожного кластеру надсилається тільки з головного БПЛА-Г p -го кластеру.

Відстань d_p між КЦ і головними вузлами кожного кластеру обчислюється з використанням формули (1):

$lat_{\text{КЦ}}$ та $lon_{\text{КЦ}}$ відповідно координати широти та довготи знаходження командного центру.

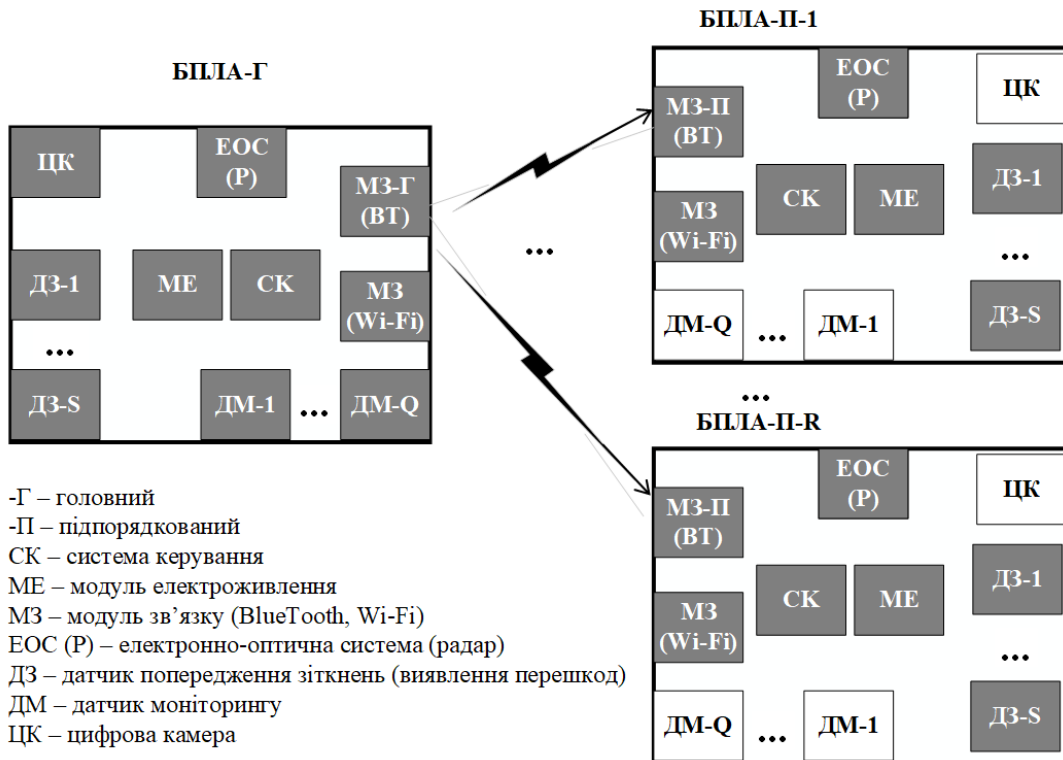


Рис. 1. Функціональна схема взаємодії БПЛА в межах одного кластеру з відключенням непріоритетних пристроїв

4.2. Опис алгоритму

На блок-схемі (рис. 2) наведений алгоритм почергової роботи двох блоків: пріоритетного та непріоритетного. Апаратний склад кожного з блоків буде розглянутий нижче. Спочатку через МЗ-Г на МЗ-П подається сигнал на відключення непріоритетного блоку. Після того, як пріоритетний блок або закінчив виконання свого завдання,

або відстань між БПЛА стала більше ніж похибка GPS-координат, і є сенс проводити аналогічні дії пристроям і головного, і підпорядкованого БПЛА, з МЗ-Г подається сигнал на підключення непріоритетного блоку.

Починається робота блоків з та вибору користувачем пріоритетного та непріоритетного пристрою та їх підключення до відповідного модулю електроживлення (МЕ).

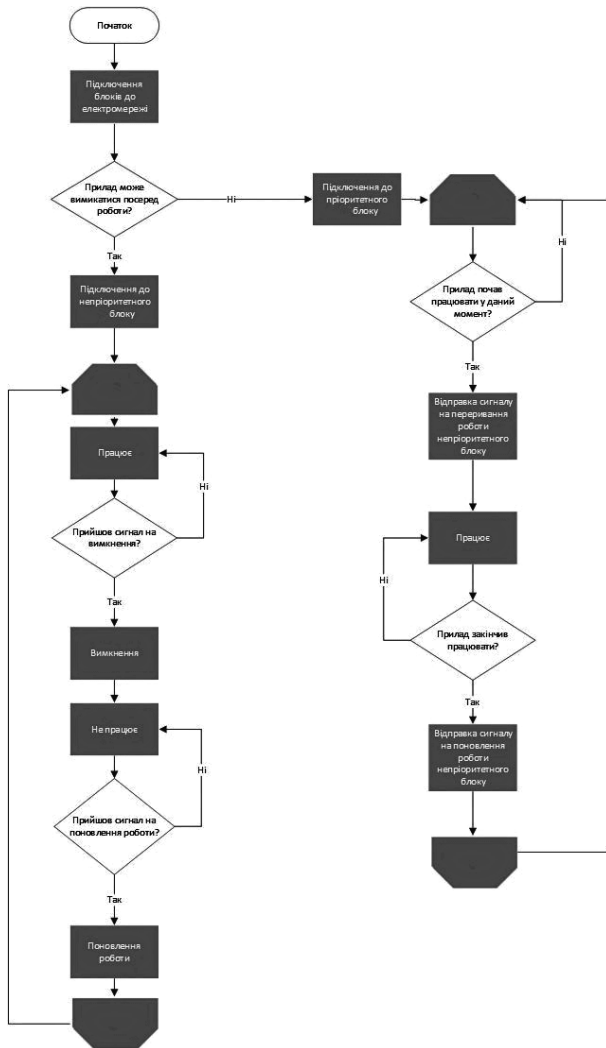


Рис. 2. Блок-схема алгоритму відключення неперіоритетного пристрою

Кроки алгоритму неперіоритетного блоку:

Крок 1. Виконання функції.

Крок 2. Перевірка вхідних сигналів на припинення роботи (якщо сигнал прийшов – вимкнення, якщо ні – повернення до роботи).

Крок 3. Перевірка вхідних сигналів на поновлення роботи (якщо сигнал прийшов – поновлення роботи та повертання на початок циклу, якщо ні – повернення вимкненого стану).

Кроки алгоритму для пріоритетного блоку:

Крок 1. Перевірка, чи почав прилад працювати (якщо почав, то відправити сигнал на припинення роботи до неперіоритетного блоку).

Крок 2. Робота (відеозйомка, моніторинг метеоданих тощо).

Крок 3. Перевірка, чи вимкнувся прилад (якщо *так*, то відправка сигналу на поновлення роботи до неперіоритетного блоку та перехід до початку циклу; якщо *ні* – повернення до роботи).

Для кожного з блоків виконуються нескінченні цикли до закінчення часу польоту БПЛА, на борту якого знаходиться зазначений блок.

4.3. Натурне моделювання

Кожен блок, що повинен відтворити роботу методу керування пристроями в умовах обмеженої потужності енергоресурсів Натурне моделювання виконане на платформі Arduino, з використанням повнофункціональної мініатюрної плати Arduino Nano 3.0 на базі мікроконтролера ATmega328 [18]. Плата підключається до ME кабелем Mini-B USB (рис. 3).

Непріоритетним приладом виступає цифрова камера (ЦК) підпорядкованого БПЛА (БПЛА-П-Р), електроживлення 3,3 В на яку подається через вивід 17 плати Arduino Nano 3.0 (рис. 3). Для відключення подачі електроживлення на ЦК-П може бути використане реле одноканальне SRD-5VDC-SL-C [19].

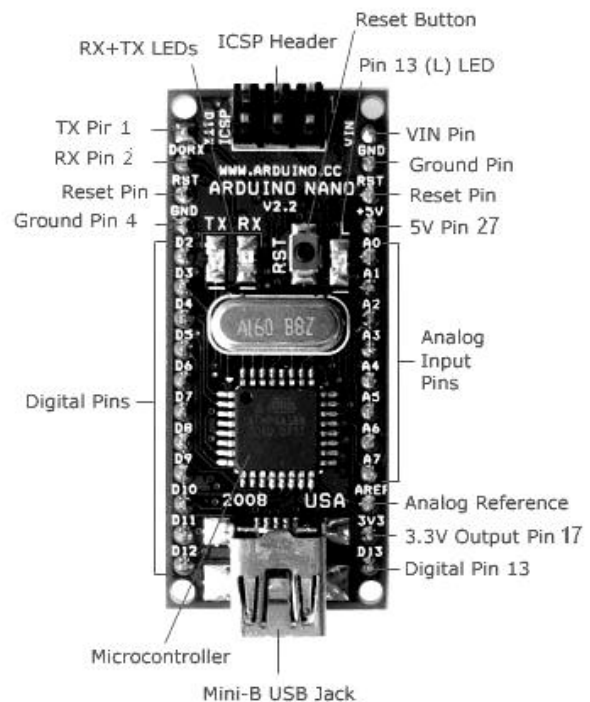


Рис. 3. Виводи плати Arduino Nano 3.0 [18]

Необхідно зазначити, що для пріоритетного та для неперіоритетного пристроїв потрібно використовувати різні моделі Bluetooth-модулів (надалі BT-модулів).

BT-модуль HC-05 (6 pin) дозволяє налагодити двосторонній радіозв'язок за протоколом Bluetooth при управлінні різними об'єктами [19]. Модуль, встановлений в прилад з мікроконтролером або без такого, забезпечує його радіозв'язок з персональним комп'ютером, Android-пристроєм або з іншим BT-модулем на відстані до 9 м після завантаження на нього відповідного скетча (рис. 4). Безперечною перевагою цього BT-модуля перед іншими є можливість завантаження скетчу без відключення модуля від RT-TX контактів плати Arduino.

```

#include <SoftwareSerial.h>
#include <PZEM004T.h>

SoftwareSerial mySerial(6, 5); // RX, TX
PZEM004T pzem(10,11); // (RX,TX) connect to TX,RX of PZEM
IPAddress ip(192,168,1,1);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pzem.setAddress(ip);
  pinMode(9,OUTPUT); digitalWrite(9,HIGH);
  mySerial.begin(38400);
}

void loop()
{
  float p = pzem.power(ip);
  if(p > 0.0){ mySerial.write('1'); }
  else {mySerial.write('0');}
}

```

Рис. 4. Лістинг коду програмного забезпечення (скетча) BT-модуля пріоритетного пристрою

Для подальшої перевірки, ознайомлення та зміни налаштувань BT-модуля HC-05 потрібно використовувати режим AT-команд [18].

BT-модуль для підпорядкованого пристрою – наприклад, HC-06 (4 pin) – виглядає як звичайний послідовний інтерфейс [19]. Тому можливо спочатку налагодити спілкування з пристроєм на ПК, а потім вже підключити цей BT-модуль до пристрою, що визначений як не-пріоритетний (підпорядкований – П на рис. 1).

```

#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mySerial(5, 6); // RX, TX

int test = 0;
int Relay = 4;

void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Relay, OUTPUT); digitalWrite(Relay,HIGH);
  pinMode(9,OUTPUT); digitalWrite(9,HIGH);
  mySerial.begin(9600);
}

void loop()
{
  if (mySerial.available() > 0){
    test = mySerial.read();
  }
  if (test == '1') {
    digitalWrite(13, HIGH); // LED ON
    digitalWrite(Relay, LOW);
  }
  else if (test == '0') {
    digitalWrite(13, LOW); // LED OFF
    digitalWrite(Relay, HIGH);
  }
}

```

Рис. 5. Лістинг коду програмного забезпечення BT-модуля не-пріоритетного пристрою

Під час завантаження скетчу (рис. 5) на BT-модуль необхідно, щоб зазначений модуль був відключений від мікроконтролера Arduino. Інакше скетч не буде завантаженим на модуль, тому що зв'язок з Bluetooth-модулем відбувається по одному і тому ж порту RX і TX, що й USB [18].

Треба зазначити, що на відміну від BT-модуля HC-05, який підключається до пріоритетного пристрою, BT-модуль HC-06 може працювати тільки в Slave-режимі. Тобто, він не може самостійно підключатися до інших BT-модулів.

Bluetooth-модуль HC-06 підключається до плати Arduino на виводи 1 (TX), 2 (RX), 4 (Ground) та 27 (+5 V) [18].

Висновки та перспективи подальших досліджень

Запропонований бездротовий метод керування відключенням пристроїв в умовах обмеженої потужності енергоресурсів зграї безпілотних апаратів передбачає формування кластерної архітектури в межах зграї БПЛА.

Оскільки кожен підпорядкований БПЛА передає сигнал головному вузлу утвореного кластера, а не наземному КЦ, потужність та дальність передачі суттєво скорочується. Таким чином, залишкова енергія і життєвий цикл всієї гетерогенної мережі, сформованої з дронів зграї, збільшуються у порівнянні з мережево-центричною архітектурою.

Крім того, призначення ролі пріоритетних пристроїв компонентам головного вузлу кластера дозволяє відключити від автономних батарей аналогічні пристрої (фотокамери, метеодатчики тощо) на підпорядкованих БПЛА у кластері як не-пріоритетні. Зважаючи на те, що цифрова камера з роздільністю 4К споживає приблизно 11,2 % енергії акумулятора БПЛА (за весь час польоту), можна стверджувати, що завдяки застосування розглянутого метода очікується відповідна економія енергоспоживання та збільшення часу польоту БПЛА.

Розроблений алгоритм, який реалізує запропонований метод, дозволяє не тільки відключати електроживлення з деяких компонентів БПЛА, але й знов відновлювати роботу відключених пристроїв без втручання наземного оператора, шляхом подання бездротового сигналу з БПЛА, на якому закінчено виконання завдання пріоритетним пристроєм.

В подальшому запропонований метод може бути розвиненим шляхом реалізації віддаленої взаємодії дронів зграї, які знаходяться на відстані, що перевищує технічні можливості безпосередньої комунікації модулів БПЛА.

Список використаної літератури

1. Байдуж, Р. Правила повітряної експлуатації безпілотних повітряних суден в Україні (концепція) [Електронний ресурс] / Р. Байдуж ; Державна авіаційна служба України. Опубл. 06.10.2017. – Режим доступу : http://drone.ua/wp-content/uploads/2017/04/20171006_Kontseptsiya-BPS.pdf.

2. Рынок дронов – игра по правилам [Электронный ресурс]. Опубл. 27.04.2017. – Режим доступа : <http://drone.ua/drone-regulations/>.

3. БПЛА RQ-4 Global Hawk [Электронный ресурс] // Боевая техника : форум. Опубл. 09.09.2017. – Режим доступа : <http://specnaz.org/index.php?/topic/6373/>.

4. RQ-4 Global Hawk оснастят боевым лазером [Электронный ресурс] // Военное обозрение. Опубл. 28.08.2017. – Режим доступа : <https://topwar.ru/123590-rq-4-global-hawk-osnastyat-boevym-lazerom.html>.

5. DJI Phantom 4 PRO : Specs [Electronic Resource]. – Access Mode: <https://www.dji.com/ru/phantom-4-pro/info>.

6. Blade Chroma CGO3 4K Camera [Electronic Resource]. – Access Mode: <https://www.horizonhobby.com/media/chroma/BLH8675.html>.

7. Walkera Voyager 5 : Specs [Electronic Resource]. – Access Mode: <http://www.walkera.com/index.php/Goods/canshu/id/66.html>.

8. Мегапиксельные камеры с CMOS-матрицей [Текст] // Технологии защиты. – 2009. – № 4.

9. Вырелкин, А. Е. Исследование возможности применения беспилотного летательного аппарата в качестве временного головного узла кластеров наземной сенсорной сети [Текст] / А. Д. Вырелкин, А. Е. Кучерявый, А. В. Прокофьев // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2015. – №1(9). – С. 27–34.

10. Испытания нового украинского БПЛА «Лелека-100» [Электронный ресурс]. Опубл. 08.02.2017. – Режим доступа : <https://bmpd.livejournal.com/2422228.html>.

11. Китай підняв у повітря рекордний рій дронів [Електронний ресурс] // Кореспондент. Опубл. 12.06.2017. – Режим доступу : <http://ua.korrespondent.net/tech/technews/3860820-kytai-pidniav-u-povitria-rekordnyi-rii-droniv>.

12. Intel Drone Light Show Breaks Guinness World Records Title at Olympic Winter Games PyeongChang 2018 : News Release [Electronic Resource] // Intel Newsroom. Publ. Feb. 9, 2018, available at: <https://newsroom.intel.com/news-releases/intel-drone-light-show-breaks-guinness->

world-records-title-olympic-winter-games-pyeongchang-2018/.

13. Google випробував систему регулювання руху безпілотників [Електронний ресурс] // Кореспондент. Опубл. 9.06.2017. – Режим доступу : <https://ua.korrespondent.net/tech/technews/3860062-Google-vyprobuvav-systemu-rehulivannia-rukhu-bezpilotnykiv>.

14. Дроны DJI получают поддержку офлайн-режима [Электронный ресурс]. Опубл. 16.08.2017. – Режим доступа : <https://hitech.newsru.com/article/16aug2017/dji>.

15. Поисковый GPS трекер RF-V16 для DJI Phantom 3/4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://coptertime.ru/catalog/multy-access/gps-tracker-dji-phantom/>.

16. Islam, Md. R. An Effective Approach to Improving Low-Cost GPS Positioning Accuracy in Real-Time Navigation [Text] / Md. R. Islam, J.-M. Kim // The Scientific World Journal. – 2014. – Vol. 2014, Article ID 671494 – 8 p. doi: 10.1155/2014/671494.

17. Журавська, І. М. Синтез маршрутів суброїв безпілотних апаратів з використанням нейронної мережі Хопфілда для обстеження територій [Текст] / І. М. Журавська, М. П. Мусієнко // Радіоелектроніка, інформатика, управління ; Запоріж. нац. техн. ун-т. – 2017. – № 3. – С. 86–94. doi: 10.15588/1607-3274-2017-2-10.

18. Kurniawan, A. Arduino Programming with .NET and Sketch. – New York : Apress, 2017. – 168 p. doi: 10.1007/978-1-4842-2659-9.

19. Ардуіно в Україні [Електронний ресурс] : інтернет-магазин. – Режим доступу : <https://arduino.ua/>.

References

1. Baiduzh, R. (2017). “Rules of Aircraft Operation of Unmanned Aircraft in Ukraine (Concept)” [Pravyla povitrianoi ekspluatatsii bezpilotnykh povitrianykh suden v Ukraini (kontseptsiia)]; State aviation administration of Ukraine. Publ. Oct. 06. Available at: http://drone.ua/wp-content/uploads/2017/04/20171006_Kontseptsiya-BPS.pdf (in Ukraine).

2. “The market of drones is a game according to the rules” [Rynok dronov – igra po pravilam]. Publ. Apr. 27, 2017. Available at: <http://drone.ua/drone-regulations/> (in Russian).

3. UAV RQ-4 Global Hawk. [Forum] “Heavies” [Boevaya tekhnika]. Publ. Sep. 09, 2017. Available at: <http://specnaz.org/index.php?/topic/6373/> (in Russian).

4. “RQ-4 Global Hawk martial laser equip” [RQ-4 Global Hawk osnastyat boevym lazerom]. *Military Review* [Voyennoye obozreniye]. Publ.

- Aug. 28, 2017. Available at: <https://topwar.ru/123590-rq-4-global-hawk-osnastyat-boevym-lazerom.html> (in Russian).
5. DJI Phantom 4 PRO : Specs. Available at: <https://www.dji.com/ru/phantom-4-pro/info>.
6. Blade Chroma CGO3 4K. Available at: <https://www.horizonhobby.com/media/chroma/BLH8675.html>.
7. Walkera Voyager 5 : Specs. Available at: <http://www.walkera.com/index.php/Goods/canshu/id/66.html>.
8. “Megapixel cameras with CMOS-matrix” [Megapiksel'nyye kamery s CMOS-matritsey]. *Technologies for shielding* [Tekhnologii zashchity]. 2009. Vol. 4 (in Russian).
9. Koucheryavy, A. E., Prokopev, A. V. and Vyrelkin, A. D. (2015). Research application unmanned aerial vehicle as a temporary the head node clusters ground sensor networks [Issledovaniye vozmozhnosti primeneniya bespilotnogo letatel'nogo apparata v kachestve vremennogo golovnogo uzla klasterov nazemnoy sensornoy seti]. *Telecom IT*. Vol. 1(9), pp. 27–34 (in Russian).
10. “Testing of the new Ukrainian UAV “Leleka-100”” [Ispytaniya novogo ukrainskogo BPLA «Leleka-100»]. Publ. Feb. 8, 2017. Available at: <https://bmpd.livejournal.com/2422228.html> (in Russian).
11. “China lifted a record for the drones in the air” [Kytai pidniav u povitria rekordnyi rii droniv]. *Correspondent*. Publ. June 12, 2017. Available at: <http://ua.korrespondent.net/tech/technews/3860820-kytai-pidniav-u-povitria-rekordnyi-rii-droniv> (in Ukraine).
12. Intel Drone Light Show Breaks Guinness World Records Title at Olympic Winter Games PyeongChang 2018 : News Release. *Intel Newsroom*. Publ. Feb. 9, 2018. Available at: <https://newsroom.intel.com/news-releases/intel-drone-light-show-breaks-guinness-world-records-title-olympic-winter-games-pyeongchang-2018/>.
13. “Google tested the drone control system” [Google vyprobuvav systemu rehuliuivannia rukhu bezpilotnykiv]. *Correspondent*. Publ. June 9, 2017. Available at: <https://ua.korrespondent.net/tech/technews/3860062-Google-vyprobuvav-systemu-rehuliuivannia-rukhu-bezpilotnykiv> (in Ukraine).
14. “DJI drones will receive offline support” [Drony DJI poluchat podderzhku oflayn-rezhima]. Publ. Aug. 16, 2017. Available at: <https://hitech.newsru.com/article/16aug2017/dji> (in Russian).
15. “Search GPS Tracker RF-V16 for ¾” [Pis-kovyy GPS treker RF-V16 dlya DJI Phantom]. Available at: <http://coptertime.ru/catalog/multy-access/gps-tracker-dji-phantom/> (in Russian).
16. Islam, Md. R. and Kim J. M. (2014). An Effective Approach to Improving Low-Cost GPS Positioning Accuracy in Real-Time Navigation. *The Scientific World Journal*. Vol. 2014, Article ID 671494, 8 p. doi: 10.1155/2014/671494.
17. Zhuravska, I. M. and Musiyenko, M. P. (2017). “The synthesis of routes of UAVs’ subswarms based on Hopfield neural network for inspection of territories” [Syntez marshrutiv sub-roiv bezpilotnykh aparativ z vykorystanniam neuronnoi merezhi Khopfilda dlia obstezhennia terytorii]. *Radio Electronics, Computer Science, Control : Zaporizhzhya National Technical University*, 3, pp. 86–94. doi: 10.15588/1607-3274-2017-2-10 (in Ukraine).
18. Kurniawan, A. (2017). *Arduino Programming with .NET and Sketch*. New York : Apress, 168 p. doi: 10.1007/978-1-4842-2659-9.
19. *Arduino in Ukraine* [Internet Shop]. Available at: <https://arduino.ua/> (in Russian).

WIRELESS METHOD FOR CONTROL UNPLUG OF DEVICES ON BOARD UAVS WITH LIMITED ENERGY RESOURCES

I. M. Zhuravska

Petro Mohyla Black Sea National University

Abstract. *The study is devoted to the problem of saving limited energy resources of unmanned vehicles (UAVs). Regardless of the size and weight of the UAV, its electronic-optical system consumes from 7 to 20 % of the battery's charge. Author proposes the method for the UAV clusters formation with wireless unplug of non-priority devices from the power supply on board the slave drones. The algorithm for alternately connecting to the power supply of similar devices on board various UAVs of one cluster has developed. To non-priority devices can be attributed digital cameras, meteorological sensors, etc., embedded to drones that fly from each other at a distance commensurate with the GPS coordinates' error. In this case it is enough if the monitoring functions will only perform devices on the Master drone of cluster. Devices assigned to non-priority ones are unplugged by a signal via the Bluetooth module. After the task is completed by the Master*

UAV of the cluster or when removing the Slave UAV from the Master drone, Master UAV sends the signal to connect the non-priority devices to the battery on board Slave drones. Considering that the 4K digital camera consumes about 11.2 % of the UAV battery charge (for the entire flight time), it can be argued that due to the use of the created method, it is expected that the energy consumption will be reduced and the flight time of the UAV will be increased. It has been proven that certain progress in saving limited energy resources of a UAV can be achieved by direct interaction between the computer components of the Master and Slave UAVs. In this case the external commands of their owner (the ground dispatch center) are not required. A multi-scale modeling was performed on the Arduino platform. It has confirmed the operability of the devised method. Subsequently, the proposed method can be improved by implementing a remote interaction between drones, which are at a distance that exceeds the technical capabilities of the direct communication of the UAV modules within a flock.

Keywords: UAV, flock, cluster, priority device, battery saving, Arduino, Bluetooth-module.

БЕСПРОВОДНЫЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ОТКЛЮЧЕНИЕМ УСТРОЙСТВ НА БОРТУ БПЛА С ОГРАНИЧЕННЫМИ ЭНЕРГОРЕСУРСАМИ

И. Н. Журавская

Черноморский национальный университет имени Петра Могилы

Аннотация. Исследование посвящено проблеме экономии ограниченных энергоресурсов беспилотных аппаратов (БПЛА). Предложен метод формирования кластеров БПЛА с беспроводным отключением неприоритетных устройств на борту ведомых дронов. Разработан алгоритм поочередного подключения к электропитанию аналогичных устройств на борту различных БПЛА одного кластера. Проведенное натурное моделирование на платформе Arduino.

Ключевые слова: БПЛА, стая, кластер, приоритетное устройство, экономия заряда аккумулятора, Arduino, Bluetooth-модуль.

Отримано 15.03.2018



Журавська Ірина Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету імені Петра Могили. Вул. 68 Десантників, 10, Миколаїв, 54003, Україна, E-mail: irina.zhuravska@chmnu.edu.ua, тел. +38-067-912-34-57

Iryna Zhuravska, Ph.D. (Techn.), Associate Professor, Doctoral Student of the Department of Computer Engineering, Petro Mohyla Black Sea National University. 68 Desantnykiv St., 10, Mykolaiv, 54003, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-8102-9854