

А.В. Пархоменко, канд. техн. наук, доц.,
О.М. Гладкова, старший викладач,
С.І. Таран, студентка,
Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна
parhom@zntu.edu.ua

Дослідження та розробка вбудованої системи автоматизованого управління безпілотним мотодельтапланом

Запропоновано структуру вбудованої системи управління безпілотним літальним об'єктом, особливістю якої є використання мотодельтаплану. Виконано аналіз існуючих підходів до проектування вбудованих систем. Показано переваги та недоліки застосування платформно-орієнтованого підходу на основі готових апаратно-програмних платформ. Обґрунтовано вибір популярних апаратно-програмних платформ Raspberry Pi та Arduino для реалізації вбудованої системи управління. Розроблено апаратно-програмний симулятор, що дозволяє виконати тестування алгоритму управління безпілотним літальним об'єктом.

Ключові слова: мотодельтаплан, безпілотний літальний об'єкт, програмно-апаратна платформа, система автоматизованого управління, GPS-трекер, датчики висоти та швидкості, симулятор.

DOI: 10.31474/1996-1588-2018-1-26-71-79

Вступ

Проектування та виробництво безпілотних літальних апаратів (БПЛА, дрони) є одним з перспективних напрямків розвитку науки та техніки в Україні. Застосування нових технологій в авіабудуванні, міцних конструкційних матеріалів, легких та економічних двигунів, мініатюризація бортового обладнання, а також поява глобальних систем навігації, зв'язку і управління дозволяють створити апарати найменших розмірів з відповідними технічними характеристиками [1].

Номенклатура і кількість БПЛА безперервно зростають, а сфери використання розширюються. Відсутність складних систем життєзабезпечення дає можливість використовувати БПЛА у небезпечних зонах та виконувати різні завдання без шкоди для здоров'я та загрози для життя екіпажу.

Відсутність людей на борту БПЛА дає можливість збільшити тривалість польоту апарату та підвищити корисне навантаження. Для запуску більшості видів БПЛА не потрібні аеродроми або спеціально підготовлені майданчики. Апарати можна оснастити досконалою знімальною апаратурою, а також різноманітними сенсорами для моніторингу навколишнього середовища. Крім того, для керування БПЛА не потрібно мати спеціальну освіту, а тому користування цими об'єктами є більш доступним. Тому, застосування БПЛА не лише в оборонній галузі, але й в цивільному секторі економіки є економічно ефективним.

Основні проблеми пов'язані з безпечним використанням повітряного простору, виділенням частотного діапазону для управління БПЛА і пе-

редачі інформації з борту на землю і навпаки і, нарешті, з розвитком ринку цивільних послуг, який знаходиться в стадії становлення.

На сьогоднішній день в сільському господарстві вже використовуються агродрони для моніторингу стану посівів та обміру полів [2, 3]. В той же час, практика хімічної обробки рослин у сільському господарстві в Україні зазвичай базується на використанні тракторів (які в процесі пересування по полю знищують частину врожаю), або пілотованих літаків старих зразків. Багато пілотів або водіїв в процесі роботи отримують отруєння хімічними речовинами. Крім того, нерідко трапляються аварії, що призводять до травм людей або навіть до смертельних випадків. Тому, використання БПЛА в сільському господарстві є доцільним та дозволяє економити людські та матеріальні ресурси. БПЛА, рухаючись на постійній швидкості, на заданій висоті, дозволяють більш раціонально витратити хімічні речовини та якісніше обробляти певні ділянки місцевості. Крім того, БПЛА можуть працювати також вночі, в умовах поганої видимості.

Українських компаній, які створюють власні дрони поки що небагато [4]. Відомий стартап [5] знаходиться на стадії реалізації, а вартість проекту поки що досить висока.

При розробці вбудованих систем (ВС) управління БПЛА необхідно враховувати велику кількість обмежень та вимог щодо розмірів, продуктивності, споживання енергії, відмовостійкості та ін. Крім того, ринкові умови вимагають постійного скорочення часу виходу продукції на ринок та зменшення її собівартості за умови забезпечення високої якості [6]. Тому, актуальність дослі-

дження обумовлена необхідністю розвитку сучасних методів проектування ВС управління БПЛА на тлі зростаючих вимог до проєктованих систем.

Метою дослідження є реалізація апаратного та програмного забезпечення системи управління БПЛА на основі платформно-орієнтованого підходу до проєктування ВС.

Задачами дослідження є: аналіз існуючих підходів до проєктування ВС; дослідження конструктивних та функціональних особливостей БПЛА; розробка структури ВС управління БПЛА; розробка апаратно-програмного симулятора для тестування алгоритму управління БПЛА.

Дослідження існуючих підходів до проєктування вбудованих систем

Вагомий внесок у розвиток теорії та практики розробки ВС зробили такі вчені: Sangiovanni-Vincentelli A. [7] – узагальнив та формалізував платформно-орієнтований підхід до проєктування ВС; Teich J. [8] – розробив модель подвійного «даху» паралельного проєктування; Лобур М.В. [9] – розробив специфічний алгоритм проєктування ВС; Биковський С.В., Платунов А.Е. [10, 11] – дослідили існуючі підходи та особливості проєктування вбудованих систем та інші.

Оскільки ВС є особливим класом систем, що містить апаратну та програмну складові, тому дуже часто використання традиційного підходу [8, 12] до їх розробки спричиняє цілу низку проблем [10]. Як наслідок, маємо високий ризик виявлення помилки вже на останніх етапах проєктування, що призводить до критично довгих затримок виходу продукту на ринок [8].

Експерти [8, 12, 13] представляють та аналізують наступні, найбільш перспективні підходи до проєктування вбудованих систем, що спрямовані на розв'язок проблем традиційного підходу: паралельне проєктування; об'єктно-орієнтоване проєктування; платформно-орієнтоване проєктування.

Процес паралельного проєктування починається зі створення специфікації проєкту, тобто оформлення вимог до системи. Далі створюється архітектура системи, в якій відокремлюються програмні та апаратні засоби. Проєктування апаратного та програмного забезпечення розподіляється певним чином у часі [8]. Після реалізації апаратних і програмних засобів, вони повинні бути окремо перевірені, інтегровані, і далі вся система тестується в цілому [14]. Паралельне проєктування має як переваги, так і недоліки. З одного боку, спричиняє ускладнення процесу проєктування ВС, а з іншого, дає значне поліпшення характеристик кінцевого продукту у порівнянні з альтернативними версіями проєктних рішень.

Об'єктно-орієнтоване проєктування ВС перейняло загальні методи, які використовуються при створенні програмного забезпечення. У цьому

підході програмні методи застосовуються до мов опису апаратного забезпечення. Причиною виникнення цього підходу є намагання скористатися перевагами об'єктно-орієнтованої методології, а саме методологіями повторного використання та управління складністю [15].

Платформно-орієнтований підхід базується на методології повторного використання [7, 16] та дозволяє значно скоротити час проєктування завдяки повторному використанню попередньо реалізованих і протестованих програмних та апаратних компонентів системи [17].

До повторно використовуваних програмних компонентів належать операційні системи реального часу, API (Application Program Interface) бібліотеки, драйвери та ін..

З метою реалізації платформно-орієнтованого підходу до проєктування виробники (Intel, Arduino, Raspberry, Texas Instrument, STMicrocontroller та ін.), пропонують величезну кількість різноманітних апаратно-програмних платформ та компонентів, що відрізняються функціональністю та вартістю, та дозволяють прискорити створення проєкту (Arduino (Uno, Leonardo, Mega, Mini, Yun та інші), Raspberry Pi, TI MSP430 Launchpad, Beagleboard, Intel Galileo, pcDuino, STM32 Nucleo, Strela, Iskra (Mini, Neo), Netduino, Teensy 3.2, CMUcam та інші) [18-21].

Використання таких платформ спрощує етап проєктування ВС завдяки використанню готових конструктивних рішень. Крім того, спеціалізоване програмне забезпечення, яке постачається в комплекті з ними, високорівнева мова програмування і безліч стандартних функцій та бібліотек, спрощує написання та відлагодження програмного забезпечення ВС [22].

Необхідно зауважити, що виведення на широкий ринок готових апаратно-програмних платформ поставило перед їх розробниками задачу універсалізації доступу та роботи з цими пристроями. Ціною шаблонного принципу побудови стали проблеми застосування таких платформ. Так, для реалізації складного функціоналу системи, доводиться інколи об'єднувати обрану платформу з платами розширення (шилдами), що призводить до збільшення вартості, габаритів і маси, а це зазвичай є неприйнятним при проєктуванні ВС. Тому, для правильного вибору апаратно-програмних платформ необхідно враховувати цілу низку факторів, основними з яких є вимоги до ВС.

Таким чином, розробка ВС «з нуля» з використанням традиційного підходу до проєктування сьогодні не є ефективною. Саме тому, в області проєктування ВС активно розвиваються платформно-орієнтоване проєктування та методологія повторного використання, що дозволяють прискорити розробку проєкту та, таким чином, скоротити час виходу продукції на ринок.

Отже, подальший розвиток методів проєктування ВС, а також накопичення існуючих проє-

ктних (програмних та апаратних) рішень з метою повторного використання є одними з ключових напрямків підвищення ефективності автоматизованого проектування ВС.

Дослідження конструктивних та функціональних особливостей мотодельтаплану

В даній роботі пропонується використовувати мотодельтаплан (рис.1) в якості основи для БПЛА.

Зазвичай мотодельтаплани використовують в якості пілотованих літальних апаратів [23]. Як показали проведені дослідження, мотодельтаплан - моторний літальний апарат з гнучким трикутним крилом і балансирним управлінням, оснащений шасі. Крило складається з силового алюмінієвого каркасу, розділеного сталевими тросами і обтягнутого м'якою обшивкою з синтетичної тканини, що за допомогою шарніру кріпиться до моторизованого візка. Навколо кільової труби будується несуча конструкція, яка з'єднує бокові частини з передньою. У центрі, перпендикулярно до кільової труби встановлюють перекладину, що збільшує міцність крила. Місцем стикування попередини і основної труби є центр мас всього апа-

рату.

У центрі мас встановлюються вертикальна розпірка і керуюча трапеція. Трапеція представляє собою алюмінієву трубу зі спеціальною системою кріплення тросових розтяжок. Шнури натягуються в обох площинах апарату - у верхній і нижній. Внизу розтяжки прикріплені до керуючої трапеції, а зверху до місць з'єднання несучих елементів. Такий пристрій забезпечує необхідну жорсткість планера при мінімальній вазі всієї конструкції. Мотовізок включає в себе несучий каркас, шасі, двигун з редуктором і повітряним гвинтом, приладове обладнання, паливний бак і місця для пілота та пасажирів.

Для керування безпілотним мотодельтапланом (БПМД) необхідно розробити автоматизовану систему управління, яка буде обчислювати маршрут польоту та стежити за висотою та швидкістю польоту. Система буде віддавати команди на керування БПМД за рахунок зміни положення центра тяжіння, шляхом відхилення трапеції: ліворуч, праворуч, вгору, вниз. Стійкість польоту досягається шляхом підтримки оборотів двигуна, за рахунок поздовжньої повітряної швидкості.



Рисунок 1 – Мотодельтаплан, що використовується в проєкті

Функціональні можливості та структура системи управління БПМД

Система автоматизованого управління БПМД має виконувати наступні функції:

- визначення оптимального маршруту за заданими точками за допомогою навігаційної системи GPS;

- контроль висоти та швидкості польоту;
- керування рулями та двигуном БПМД.

В якості вхідних даних система використовує паспорт поля (дані про місцевість, яку потрібно обробити а саме: координати поля, проблемні

ділянки, місцезнаходження лісосмуги та дороги), на основі якого складається маршрут польоту.

На рисунку 2 зображено узагальнену структурну схему системи автоматизованого управління БПМД. Ядром системи є мінікомп'ютер Raspberry Pi 3, до якого підключено GPS-трекер для визначення поточного місцезнаходження та апаратно-програмну платформу Arduino Uno. На мінікомп'ютері встановлено основну програму, яка виконує обчислення та здійснює формування керуючих впливів. Навігаційна система GPS виконує визначення місця розташування шляхом вимірювання моментів часу прийому синхронізо-

ваного сигналу від навігаційних супутників антеною споживача. До плати Arduino підключені датчики висоти та поздовжньої повітряної швидкості,

ті, дані з яких вона зчитує та обробляє, а також модуль реле, який передає керуючі сигнали на мотори рулів та двигуна БПМД.

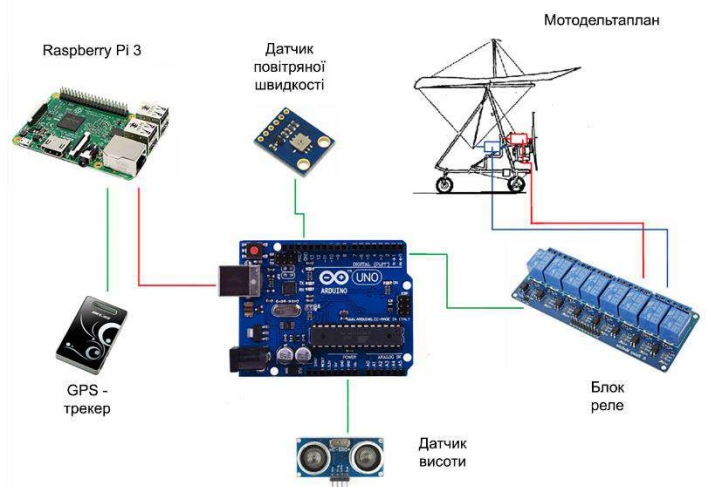


Рисунок 2 – Структура системи автоматизованого управління БПМД

Для розробки ВС управління БПМД було обрано мінікомп'ютер Raspberry Pi, апаратно-програмну платформу Arduino Uno, датчик вимірювання поздовжньої повітряної швидкості BMP085, модуль реле SONGLE SRD-05VDC, датчик вимірювання висоти HC-SR04 та GPS-трекер BT-Q890.

Raspberry Pi – одноплатний повнофункціональний комп'ютер, що має відповідні атрибути: виділений процесор, пам'ять, графічний драйвер для виводу через HDMI. Він може використовуватись як важлива складова мобільних автоматизованих систем, оскільки більш дешевий, простий, компактний та споживає менше енергії у порівнянні зі звичайними комп'ютерами.

Arduino Uno – апаратно-програмна платформа, побудована на контролері ATmega328. Платформа має 14 цифрових вход / виходів (6 з яких можуть використовуватись як виходи ШІМ), 6 аналогових входів, кварцовий генератор 16 МГц, USB, силовий та ICSP роз'єми, а також кнопка перезавантаження. З огляду на вимоги Arduino до електроживлення і простоту обслуговування, платформу можна експлуатувати практично не вмикаючи та не втручаючись в її роботу для зчитування даних з датчиків та зміни значень на двигуні або інших пристроях. Оскільки, Arduino і Raspberry Pi вирішують різні завдання, в певних ситуаціях зручно використовувати ці пристрої спільно. Існує ряд можливостей їх з'єднання (по USB, локальній мережі або у вигляді простого підключення портів вводу/виводу) для отримання клієнтського доступу до налаштувань та коду через Raspberry Pi, в той час як Arduino контролює управління робочими органами і збирає інформацію з датчиків. [24]. Тому, пропонується їх сумісне використання для ефективного розподілу функцій створеної ВС управління БПМД.

Датчик вимірювання швидкості BMP085 – цифровий інтегральний датчик атмосферного тиску. Випускається в корпусі LCC8, його габарити 5x5x1,2мм. В основі датчика п'єзо-резистивний сенсор, вихідний сигнал якого після внутрішнього аналого-цифрового перетворення доступний користувачеві. Отримане значення не є значенням атмосферного тиску, а пов'язане з ним складною залежністю, для розрахунку якої необхідно використовувати 11 коригуючих коефіцієнтів. Дані коефіцієнти прошиті у вбудовану EEPROM пам'ять датчика і індивідуальні для кожного датчика. Для температурної компенсації датчик має вбудований аналоговий сенсор температури, сигнал з якого так само необхідно оцифрувати, прочитати і перерахувати. У загальному випадку алгоритм роботи з датчиком виглядає наступним чином:

- включення;
- зчитування коригуючих коефіцієнтів;
- запуск перетворення сигналу з сенсора температури;
- очікування закінчення перетворення;
- зчитування результату перетворення;
- розрахунок температури;
- запуск перетворення сигналу з сенсора тиску;
- очікування закінчення перетворення;
- зчитування результату перетворення;
- розрахунок тиску.

Модуль реле SONGLE SRD-05VDC, що є засобом керування, має два окремих кола: коло управління, представлене контактами A1, A2 та кероване коло з контактами 1-3.

Датчик вимірювання висоти HC-SR04 – це стабільний і точний вимірювач відстані, який не має «сліпих зон». Може вимірювати відстань від

0 см до 1500 мм, точність досягає 3 мм. Датчик випромінює короткий ультразвуковий імпульс (в момент часу 0), який відбивається від об'єкта і приймається сенсором. Відстань розраховується виходячи з часу до отримання відгуку та швидкості звуку в повітрі.

GPS-трекер VT-Q890 – універсальний навігатор для визначення координат, швидкості, висоти та курсу. Навігаційна інформація в більшості випадків передається по протоколу NMEA (National Marine Electronics Association) [25]. Як показали проведені дослідження, це найпоширеніший протокол передачі для GPS-модулів, що описує великий список різних повідомлень, з яких можна виділити два десятки таких, що активно використовуються в навігаційній апаратурі. У зв'язку з великою популярністю і простотою представлення даних, NMEA протокол знайшов застосування не лише в морських, а також в авіаційних, геодезичних та побутових GPS приймачах. Зміст популярних NMEA повідомлень:

- GGA - інформація про фіксоване рішення (найпопулярніше і найбільш використовуване NMEA повідомлення з інформацією про поточне фіксоване рішення - горизонтальні координати, значення висоти, кількість використовуваних супутників і тип рішення);

- GSA - загальна інформація про супутники (це NMEA повідомлення містить список супутників, які використовуються в підрахунку позиції і значення геометричних факторів DOPs (dilution of precision), що визначають точність підрахунку позиції);

- GSV - детальна інформація про супутники (це NMEA повідомлення містить детальну інформацію для всіх супутників, що відслідковуються навігатором GPS. Виходячи з обмеження в 80 символів в складі одного NMEA повідомлення можуть передаватися дані тільки для 4-х супутників. Відповідно для 12 супутників потрібно 3 повідомлення GSV);

- RMC - рекомендований мінімальний набір GPS даних (це NMEA повідомлення містить весь набір так званих PVT (position, velocity, time)).

Для позиціонування місцезнаходження БПМД розроблено програму на мові C#, яка дозволяє налагодити порт GPS, отримати та обробити координати за формулою (1), розрахувати азимут за формулою (2) та дистанцію за формулою (3).

$$a_{\text{рад}} = a^{\circ} \frac{\pi}{180^{\circ}} + a' \frac{\pi}{180^{\circ} \cdot 60'} + a'' \frac{\pi}{180^{\circ} \cdot 60' \cdot 60''}, \quad (1)$$

де a° – градуси, a' – хвилини, a'' – секунди, π – число Пі. (2)

$$\Delta\sigma = 2 \arcsin \left\{ \sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2} \right) + \cos\phi_1 \cos\phi_2 \sin^2 \left(\frac{\Delta\lambda}{2} \right)} \right\}$$

де ϕ_1 – широта першої точки, ϕ_2 – широта другої точки, $\Delta\lambda$ – різниця координат за довготою.

$$\Delta\sigma = \arctan \left\{ \frac{\sqrt{[\cos\phi_2 \sin\Delta\lambda]^2 + [\cos\phi_1 \sin\phi_2 - \sin\phi_1 \cos\phi_2]^2}}{\sin\phi_1 \sin\phi_2 + \cos\phi_1 \cos\phi_2 \cos\Delta\lambda} \right\} \quad (3)$$

Також, в середовищі Arduino IDE розроблено програми взаємодії Arduino Uno з датчиком вимірювання швидкості (BMP085) та з блоком управління (модуль реле SONGLE SRD-05VDC).

Розробка апаратно-програмного симулятора для тестування алгоритму управління системою

Для тестування системи управління, на мові C# було написано спеціальну програму, що симулює політ літального апарату шляхом зміни координат. При цьому, симуляція роботи блоку керування здійснюється за допомогою світлодіодів (рис. 3). Згідно Таблиці 1 симулюються такі стани: поворот ліворуч, газ макс.; поворот ліворуч, газ мін.; поворот ліворуч, стоп; поворот праворуч, газ макс.; поворот праворуч, газ мін.; поворот праворуч, стоп; вниз, газ макс.; вниз, газ мін.; вниз, стоп; вгору, газ макс.; вгору, газ мін.; вгору, стоп.

Завдяки процесу симуляції є можливість відлагодити алгоритм керування та перевірити правильність функціонування керуючої програми.



Рисунок 3 – Апаратна частина симулятора

Висновок

Розробка сучасних ВС управління БПЛА для сільського господарства потребує впровадження нових та розвитку існуючих технологій проектування з метою скорочення термінів виходу на ринок та зменшення собівартості проектів. Створене комплексне рішення на основі спільного

використання декількох апаратно-програмних платформ є працездатним та може використовуватись в якості основи ВС управління БПМД.

Наукова новизна полягає в тому що отримав подальший розвиток метод платформно-орієнтованого проектування ВС на основі спільного застосування декількох апаратно-програмних платформ з метою ефективного розподілу та реалізації функцій ВС управління БПЛА. Удосконалено структуру системи управління БПЛА, в якій запропоновано використання

мотодельтаплану в якості об'єкта управління. Вперше розроблено апаратно-програмний симулятор для тестування алгоритму керування рухом БПМД.

Практична цінність полягає в тому, що застосування розробленої ВС управління БПМД дозволить створити недорогий варіант БПЛА для використання у сільському господарстві.

Таблиця 1. Таблиця станів для симуляції алгоритму управління

Програма визначення місцезнаходження / Програма визначення швидкості	Вихід на Arduino Uno										Пояснення
	Стан	4	5	6	7	8	9	10	11		
	Ліворуч										
I	1	0	0	1		1	0	0	0		Поворот ліворуч, газ макс.
II	1	0	0	1		0	1	0	0		Поворот ліворуч, газ мін.
III	1	0	0	1		0	0	1	0		Поворот ліворуч, стоп
	Праворуч										
IV	0	1	1	0		1	0	0	0		Поворот праворуч, газ макс.
V	0	1	1	0		0	1	0	0		Поворот праворуч, газ мін.
VI	0	1	1	0		0	0	1	0		Поворот праворуч, стоп
	Вниз										
VII	1	0	1	0		1	0	0	0		Вниз, газ макс.
VIII	1	0	1	0		0	1	0	0		Вниз, газ мін.
IX	1	0	1	0		0	0	1	0		Вниз, стоп
	Вгору										
X	0	1	0	1		1	0	0	0		Вгору, газ макс.
XI	0	1	0	1		0	1	0	0		Вгору, газ мін.
XII	0	1	0	1		0	0	1	0		Вгору, стоп

Список літератури

1. Українські безпілотники показали на виставці в ОАЕ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://economics.unian.ua/industry/10034747-ukrajinski-bezpilotniki-pokazali-na-vistavci-v-uae-foto.html>
2. SmartFarming представила лінійку сільськогосподарських безпілотників [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://superagronom.com/news/2394-smartfarming-predstavila-naybilshu-v-ukrayini-liniyku-silskogospodarskih-bezpilotnikiv>
3. Безпілотники «Матриці технологій» для сільського господарства [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://matrix-uav.ua/2017/11/06/agrokompleks-2/>
4. Огляд агродронів українського виробництва. Частина 1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://smartfarming.ua/ua-blog/obzor-agrodrinov-ukrainskogo-proizvodstva-chast-1>
5. Крилатий ангел [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://agtech.com.ua/krylatiy_angel/
6. Parkhomenko, A. Complex requirements analysis for the high-level design of Embedded Systems / A. Parkhomenko, O. Gladkova // Вісник НУ «Львівська політехніка». Серія «Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика». №808, 2014, с.3-9.
7. Keutzer, K. System-Level Design: Orthogonalization of Concerns and Platform-Based Design / K. Keutzer, S. Malik, A. Richard Newton, Jan M. Rabaey, A. Sangiovanni Vincentelli // IEEE transactions on computer-aided design of integrated circuits and systems. Vol.19(12), 2000, p.1523-1543.
8. Teich, J. Hardware/Software Codesign: The Past, the Present, and Predicting the Future / J. Teich // IEEE proceedings, Germany. Vol.100, 2012, p. 1411–1429.
9. Лобур, М.В. Особливості проектування вбудованих систем / М.В. Лобур // Вісник НУ «Львівська політехніка». Серія «Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика». № 501, 2004, с. 69-75.
10. Платунов, А. Е. Высокоуровневое проектирование встраиваемых систем. Часть 1: учеб. пособие / А. Е. Платунов, Н. П. Постников. СПб.: НИУ ИТМО, 2011, 121 с.

11. Сопряженное проектирование встраиваемых систем (Hardware/Software co-design). Часть 1: учебное пособие / С.В.Быковский, Я.Г.Горбачев, А.О.Ключев, и др. СПб.: Университет ИТМО, 2016, 108с.
12. Платунов, А. Встраиваемые системы управления. / Платунов А. // CONTROL ENGINEERING Россия. № 1 (43), 2013, с. 16–24.
13. Abdurohman, M. The New Embedded System Design Methodology for Improving Design Process Performance / M. Abdurohman, Kuspriyanto, S. Sutikno, A. Sasongko, // International Journal of Computer Science and Information Security. Vol. 8(1), 2010, p. 35–43.
14. Пархоменко, А.В. Разработка информационной технологии проектирования электронных средств с применением PRO/ENGINEER и ALTIUM / А.В. Пархоменко, О.Н. Гладкова, Р.А. Вершинин // Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій". Запоріжжя: ЗНТУ, 2012, с. 251- 253.
15. Tero, V. An embedded object approach to embedded system development. OULU University press, 2009, 130 p.
16. Simpson, W.T. Platform-based design and development: current trends and needs in industry / T.W. Simpson and, T. Marion, O. de Weck, K. Hölttä-Otto, M. Kokkolaras, S.B. Shooter // Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 2006, p.1-10.
17. Parkhomenko, A. Reusable solutions for embedded systems' design / A. Parkhomenko, O. Gladkova, A. Sokolyanskii, V. Shepelenko, Y. Zalyubovskiy // Proceedings of 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation. Madrid, Spain, 2016, p.313-317.
18. How to select your next development board [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://electronicsforu.com/buyers-guides/hardware-buyers-guide/select-next-development-board/3>
19. Choosing the right embedded development board [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://electronicsforu.com/buyers-guides/hardware-buyers-guide/embedded-development-board>
20. Гид по выбору платформы разработки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://amperka.ru/page/development-board-guide>
21. Какую платформу (arduino, raspberry, stf32) выбрать для обучения и сборки рабочего решения? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://toster.ru/q/283729>
22. Parkhomenko A. Analysis and application of existent approaches in microcontroller system designing / A. Parkhomenko, O. Gladkova // Proceedings of the IX International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design. Lviv: NU "Lviv Polytechnic", 2013, p. 59-61.
23. Мотодельтаплан AEROS-2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.aeros.com.ua/structure/trike/aer2_ru.php
24. Arduino и Raspberry PI [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://habrahabr.ru/company/piter/blog/255701/>
25. National Marine Electronic Association [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nmea.org/>

References

1. "Ukrainian drones shown at an exhibition in UAE" [Ukrayins'ki bezpilotniki pokazaly na vistavtsi v OAE], available at: <https://economics.unian.ua/industry/10034747-ukrajinski-bezpilotniki-pokazali-na-vistavci-v-oae-foto.html>
2. "SmartFarming introduced a line of agricultural drones" [SmartFarming predstavyla liniyku sil's'kohospodars'kykh bezpilotnykiv], available at: <https://superagronom.com/news/2394-smartfarming-predstavila-naybilshu-v-ukrayini-liniyku-sil'skogospodarskih-bezpilotnikiv>
3. "Drones "Matrix Technologies" for agriculture" [Bepilotni «Matrytsi tekhnolohiy» dlya sil's'koho hospodarstva], available at: <http://matrix-uav.ua/2017/11/06/agrokompleks-2/>
4. "Review of agricultural drones of Ukrainian production. Part 1" [Ohlyad ahrodroniv ukrayins'koho vyrobnytstva. Chastyna 1], available at: <https://smartfarming.ua/ua-blog/obzor-agrodronov-ukrainskogo-proizvodstva-chast-1>
5. "Winged angel" [Krylaty anhel], available at: https://agtech.com.ua/krylatiy_angel/
6. Parkhomenko A., Gladkova O. (2014) "Complex requirements analysis for the high-level design of Embedded Systems", *Visnik NU "Lviv polytechnic". Series "Computer systems and networks" [Visnyk NU "L'viv's'ka politekhnika". Seriya "Komp'yuterni systemy proektuvannya. Teoriya i praktyka]*, №808, p.3-9
7. Keutzer, K., Malik S., Richard Newton A., Rabaey Jan M., Sangiovanni Vincentelli A. (2000) "System-Level Design Orthogonalization of Concerns and Platform-Based Design", *IEEE transactions on computer-aided design of integrated circuits and systems*, vol.19(12), p.1523-1543.
8. Teich, J. (2012) "Hardware/Software Codesign: The Past, the Present, and Predicting the Future", *IEEE*

proceedings, vol.100, p. 1411–1429.

9. Lobur, M.V. (2004) "The features of embedded systems design" [Osoblyvosti proektuvannya vbudovanykh system], *Visnik NU "Lviv polytechnic". Series "Computer systems and networks" [Visnyk NU "Lviv's'ka politekhnika». Seriya "Komp'yuterni systemy proektuvannya. Teoriya i praktyka]*, № 501, p. 69-75.

10. Platonov A. E., Postnikov N. P. (2011) "High-level design of embedded systems. Part 1" [Vysokourovnevoe proyektirovaniye vstraivayemykh sistem. Chast' 1], St.-Petersburg, University ITMO, 121 p.

11. Bykovsky S.V., Gorbachev Ya.G., Klyuchev A.O. and other. (2016) "Hardware/Software co-design. Part 1" [Sopryazhennoye proyektirovaniye vstraivayemykh sistem. Chast' 1], St.-Petersburg, University ITMO, 108 p.

12. Platonov A. E. (2013) "Embedded Control Systems" [Vstraivayemyye sistemy upravleniya], *Control engineering Russia*, № 1 (43), p. 16–24.

13. Abdurohman, M., Kuspriyanto, Sutikno S., Sasongko A. (2010) "The New Embedded System Design Methodology for Improving Design Process Performance", *International Journal of Computer Science and Information Security*, vol. 8(1), p. 35–43.

14. Parkhomenko A.V., Gladkova O.N., Vershinin R.A. (2012) "Development of information technology for the design of electronic devices using PRO/ENGINEER and ALTIUM" [Razrabotka informatsionnoy tekhnologii proyektirovaniya elektronnykh sredstv s pomoshch'yu PRO/ENGINEER i ALTIUM], *Proceedings of VI International Scientific Conference on Modern Problems and Achievements in the Field of Radio Engineering, Telecommunication and Information Technologies [Tezi dopovidey VI Mizhnarodnoy nauko-praktichnoy konferentsii Suchasni problemi i dosagnennya v galuzi radiotekhniki, telekomunikatsiy i informatsiynikh tekhnologiy]*, Zaporizhzhia, ZNTU, p. 251- 253.

15. Tero, V. (2009) "An embedded object approach to embedded system development". OULU University press, 130 p.

16. Simpson W.T., Marion T., de Weck O., Hölttä-Otto K., Kokkolaras M., Shooter S.B. (2006) "Platform-based design and development: current trends and needs in industry" *Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, Philadelphia, Pennsylvania, USA, p.1-10.

17. Parkhomenko, A., Gladkova O., Sokolyanskii A., Shepelenko V., Zalyubovskiy Y. (2016) "Reusable solutions for embedded systems' design", *Proceedings of the 13 International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation*, Madrid, Spain, p.313-317.

18. "How to select your next development board", available at: <http://electronicsforu.com/buyers-guides/hardware-buyers-guide/select-next-development-board/3>

19. "Choosing the right embedded development board", available at: <http://electronicsforu.com/buyers-guides/hardware-buyers-guide/embedded-development-board>

20. "Guide for choosing platform for development" [Gid po vyboru platformy razrabotki], available at: <http://amperka.ru/page/development-board-guide>

21. "What platform (arduino, raspberry, stm32) to choose for studying and project developing?" [Kakuyu platformu (arduino, raspberry, stm32) vybrat' dlya obucheniya i sborki rabocheho resheniya], available at: <https://toster.ru/q/283729>

22. Parkhomenko A. "Analysis and application of existent approaches in microcontroller system designing" / A. Parkhomenko, O. Gladkova // *Proceedings of IX International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design*. Lviv: NU "Lviv Polytechnic", 2013, p. 59-61.

23. "Motorized hang-glider AEROS-2" [Motodel'taplan AEROS-2], available at: https://www.aeros.com.ua/structure/trike/aer2_ru.php

24. "Arduino and Raspberry PI" [Arduino i Raspberry PI], available at: <https://habrahabr.ru/company/piter/blog/255701/>

25. "National Marine Electronic Association", available at: <https://www.nmea.org/>

Надійшла до редакції 15.06.2018

A.V. PARKHOMENKO, O.N. GLADKOVA, S.I. TARAN

Zaporizhzhia National Technical University (Ukraine)

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF EMBEDDED SYSTEM FOR MOTORIZED HANG-GLIDER AUTOMATED CONTROL

The structure of the embedded system of the unmanned aerial object control, based on motorized hang-glider usage as the object of control, is proposed. Analysis of the motorized hang-glider was performed taking into account its structural and functional features. The investigation of existing approaches to the design of embedded systems has been performed. It was shown, that the design of embedded systems of unmanned aerial object control, which can be used in different areas of human activities, is relevant and economically feasible. However, development of the ES "from scratch" using the traditional approach in designing is not effective to-

day. That is why, it is expedient to develop platform-based approaches in designing, as well as to apply the reuse methodology, which will accelerate the development of the project and reduce the time of products' release to the market. It is shown, that the usage of ready-made hardware-software platforms contributes to shortening the design time of the embedded system and provides opportunities for reuse in other projects. The advantages and disadvantages of using a platform-based approach based on ready hardware and software platforms are shown. The choice of the popular Raspberry Pi and Arduino hardware/software platforms for the implementation of the embedded system of the unmanned aerial object control based on the motorized hang-glider has been substantiated. The hardware-software simulator has been developed, allowing to test the control algorithm of an unmanned aerial object.

Keywords: *motor-hang-glider, unmanned aerial vehicle, software-hardware platform, automated control system, GPS tracker, height and speed sensors, simulator.*

А.В. ПАРХОМЕНКО, О.Н. ГЛАДКОВА, С.И. ТАРАН

Запорожский национальный технический университет (Украина)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ВСТРОЕННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОТОДЕЛЬТАПЛАНом

Предложена структура встроенной системы управления беспилотным летательным объектом, особенностью которой является использование мотодельтаплана в качестве объекта управления. Выполнен анализ существующих подходов к проектированию встроенных систем. Показаны преимущества и недостатки применения платформно-ориентированного подхода на основе готовых аппаратно-программных платформ. Обоснован выбор популярных аппаратно-программных платформ Raspberry Pi и Arduino для реализации встроенной системы управления. Разработан аппаратно-программный симулятор, позволяющий выполнить тестирование алгоритма управления беспилотным летательным объектом.

Ключевые слова: *мотодельтаплан, беспилотный летательный объект, программно-аппаратная платформа, система автоматизированного управления, GPS-трекер, датчики высоты и скорости, симулятор.*