

А. О. Подорожняк¹, Є. А. Волоцков¹, О. С. Шевцова²

¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

² Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Предметом вивчення в статті є дослідження системи управління безпілотних літальних апаратів для комп'ютерного симулятора віртуального квадрокоптера. **Мета** – розробка алгоритму автоматичного пошуку короткого шляху для квадрокоптера та дослідження методів управління квадрокоптером у програмному середовищі розробленого комп'ютерного додатку з сучасним графічним інтерфейсом для роботи за допомогою джойстика із віртуальною моделлю безпілотного літального апарату. **Задача** – дослідження властивостей сучасних гвинтових безпілотних літальних апаратів із виявленням особливостей їх функціонування та контролю над їх поведінкою. Розглянуті основні особливості безпілотних літальних апаратів на основі квадрокоптерної схеми побудови, проведений огляд існуючих симуляторів, що дозволяють керувати різною авіаційною технікою. Наведений опис розробленого інтерактивного комп'ютерного додатку, завдяки якому користувач виконує управління безпілотним літальним апаратом у вигляді квадрокоптера. Виявлені особливості переміщення віртуального квадрокоптера у просторі з урахуванням усіх існуючих типів маневрів і з урахуванням інтеграції сучасного контролера для подачі команд літальному апарату та управління створеним програмним інтерфейсом користувача. Проведено розробку методу автоматичного управління літальним апаратом у разі виникнення надзвичайних ситуацій, що дозволяє виконувати самостійне повернення до точки старту за допомогою алгоритму пошуку короткого шляху. **Висновки:** проведене дослідження системи управління безпілотних літальних апаратів з використанням розробленого програмного симулятора квадрокоптера, що управляється за допомогою джойстика або автоматично, показало працездатність запропонованого методу автоматичного управління літальним апаратом у разі виникнення надзвичайних ситуацій на основі алгоритму пошуку короткого шляху.

Ключові слова: система управління; безпілотний літальний апарат; стимулятор; квадрокоптер.

Вступ

Науково-технічний прогрес на сьогоднішній день значною мірою сприяє розвитку безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що підтримують дистанційне керування. Потенціал цієї техніки ще досі не розкритий в повній мірі, але вже зараз вони широко використовуються у різних галузях життя і продовжують вдосконалюватися, зайнявши своє місце у різних сферах людського життя.

Управління будь-яким БПЛА вимагає від оператора певного рівня підготовки або навичок. Для тренувань чи ознайомлення з технічними особливостями та управлінням літальним засобом існують різні види авіаційних симуляторів, що різняться між собою залежно від мети, яку прагне досягнути під час використання користувач [1, 2].

Використання таких програмних рішень дозволяє виконувати тренування операторів БПЛА для подальшого покращення їх навичок роботи з такою технікою. Також розробка авіаційних симуляторів дозволяє розглянути поведінку БПЛА у спеціально підготовлених умовах для тестування нових характеристик та методів управління [3].

Основні дані про БПЛА

Безпілотні літальні апарати є одним із видів літальних апаратів, особливістю яких є здійснення польоту та посадки без фізичної присутності пілота на борту. За сучасним визначенням, БПЛА є тільки той апарат, який знаходиться під постійним дистанційним контролем пілота або пілотів і призначений для повернення на аеродром і для подальшого по-

вторного використання. Залежно від принципів керування, розрізняють такі різновиди безпілотних літальних систем: некеровані, автоматичні та дистанційно-пілотовані апарати. БПЛА широко застосовуються для виконання різноманітних завдань: моніторинг повітряного простору, земної й водної поверхонь, розвиток систем зв'язку, художня фотографія, керування повітряним рухом тощо.

Мультикоптер – вид БПЛА із довільною кількістю несучих гвинтів, що розміщені на одній площині та обертаються діагонально в протилежних напрямках. Іноді вживається поняття квадрокоптер, хоча воно відноситься до БПЛА із чотирма роторами. Мультикоптери виконують політ за допомогою обертання несучих гвинтів. Від швидкості кожного з них залежить тип маневру, що виконує літальний засіб. Мультикоптери здатні виконувати вертикальний зліт та посадку, повороти навколо своєї осі, переміщення у чотирьох напрямках, а також мають змогу стабільно зависати у повітрі, тримаючи висоту. На рис. 1 показані напрям руху гвинтів для рівномірного затримання в повітрі.

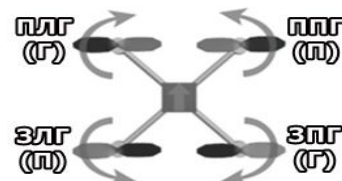


Рис. 1. Напрями руху гвинтів:

- (ПЛГ(Г) – передній лівий гвинт (за год. стрілкою),
- ППГ(П) – передній правий гвинт (проти год. стрілки),
- ЗЛГ(П) – задній лівий гвинт (проти год. стрілки),
- ЗПГ(Г) – задній правий гвинт (за год. стрілкою).

Мультикоптери є БПЛА, що означає їх дистанційність в управлінні. Для контролю над апаратом із землі використовується спеціальний пульт управління. За допомогою аналогових стіків виконується подача сигналів від оператора на приймач, що знаходиться всередині мультикоптера. Літальний контролер трансформує отриманий сигнал у команду для управління моторами, що у свою чергу виконують прискорення гвинтів або їх уповільнення, залежно від типу потрібного маневру. У табл. 1 подані чотири основні типи маневрів квадрокоптера.

Таблиця 1 – Види маневрів квадрокоптера

Назва	Дія на гвинти	Результат дії
Газ	Рівномірне прискорення або сповільнення усіх 4 гвинтів	Переміщення вгору і вниз
Рискання	Рівномірне прискорення 2 гвинтів, що обертаються за годинниковою стрілкою та сповільнення 2 інших і навпаки	Поворот навколо власної осі
Тангаж	Рівномірне прискорення 2 задніх гвинтів та сповільнення передніх і навпаки	Переміщення вперед і назад
Крен	Рівномірне прискорення 2 гвинтів з одного боку та сповільнення з іншого	Переміщення вліво і вправо

Огляд сучасних симуляторів

Авіаційними симуляторами називають симулятори польоту на певному повітряному судні, що означає можливість повного контролю над його віртуальною моделлю [4, 5]. Такі симулятори в наш час є надзвичайно поширеними в різних галузях життя та суттєво відрізняються своїми характеристиками в залежності від призначення: від комп'ютерних ігор і простих механіко-електронних пристроїв з приладовою панеллю і передньою частиною фюзеляжу, до складних комплексів з сучасними системами візуалізації і перевантажень, призначених для навчання пілотів бойових літаків і космонавтів.

Авіаційні тренажери являють собою більш складні симулятори польоту, що призначені для наземної підготовки пілотів. У такому тренажері використовуються технічні засоби, які імітують шляхом апаратно-програмного комплексу динаміку польоту та роботу систем повітряного судна за допомогою спеціальних моделей, реалізованих у програмному забезпеченні обчислювального комплексу такого тренажеру.

Симулятори бувають трьох видів: аркадні, реалістичні та професійні. Для виконання управління в симуляторі використовується спеціальний джойстик, що імітує реальний пульт управління, дуже часто повністю повторюючи його конструкцію. Дуже часто застосовуються спеціальні ігрові джойстики, які можна перепрограмувати під використання в якості пульта для управління БПЛА.

Управління віртуальним БПЛА

Орієнтація квадрокоптеру у просторі задається трьома кутами: рискання – ψ , тангажу – θ , крена – ϕ , рис. 2 [6, 7]. Усі разом ці кути складають вектор

$\Omega T = (\psi \ \theta \ \phi)$. Позиція апарату у просторі задається радіус-вектором $rT = (x \ y \ z)$.

На кожний із чотирьох моторів квадрокоптера діє формула, що описує силу кожного з моторів, які приводять у рух гвинти та протидіють силі гравітації Землі: $F_i = b \cdot \omega_i^2$, де ω_i – кутова швидкість двигуна, а b – коефіцієнт пропорційності.

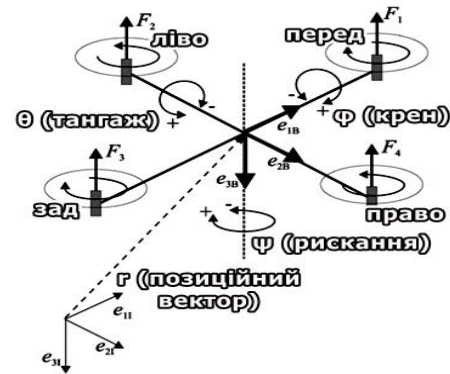


Рис. 2. Схема кутів, що визначають орієнтацію квадрокоптера у просторі

Математична модель квадрокоптера представляє собою систему диференціальних рівнянь, що описують стан літального апарату в просторі щодо вертикальних сил, що створюються його гвинтами:

$$(\ddot{x}_k, \ddot{y}_k, \ddot{z}_k, \phi, \theta, \psi) = f(F1, F2, F3, F4, M1, M2, M3, M4), \tag{1}$$

де $\ddot{x}_k, \ddot{y}_k, \ddot{z}_k$ – прискорення центру мас квадрокоптера щодо відповідних осей; ϕ, θ, ψ – кути, що описують орієнтацію квадрокоптера в просторі; $F1, F2, F3, F4$ – тягові зусилля, що створюються відповідними двигунами. Динаміка руху центру мас квадрокоптера описується за допомогою диференціальних рівнянь.

У якості літального засобу, контроль над яким здійснюється в додатку, представлений квадрокоптер на дистанційному управлінні. Програма симуляції працює на ПК з ОС Windows, керування віртуальним засобом здійснюється за рахунок підключеного через порт USB контролеру управління.

У якості основного засобу розробки було обрано Unity, що є популярним інструментом для створення комп'ютерних ігор та інших додатків. Програма, що розроблена у середовищі Unity, працює за допомогою спеціальних скриптів. Для написання цих скриптів було обрано середовище програмування Visual Studio. Середовище розробки коду можна запускати прямо з редактора Unity, обираючи потрібний скрипт або створюючи новий, таким чином обидва продукти є сумісними між собою і саме тому вони були обрані в якості основних інструментів у розробці тренажерного симулятора БПЛА.

Управління у програмі виконується завдяки підключеному через USB порт контролеру Logitech F510. У середовищі Unity були перетворені сигнали з джойстика у спеціальні команди на мові C# та налаштовані такі параметри: імена сигналів, чутливість до руху стіків, мертва зона тощо.

Для кожної із чотирьох осей цих стіків характерна певна функція, яку вона виконує. У квадрокоптера це газ, тангаж, крен та рискання. На рис. 3 представлена схема контролеру та функції, що він виконує завдяки переміщенню стіків у різних напрямках.



Рис. 3. Схема функцій джойстика

Таким чином, вертикальна вісь лівого стіку відповідає за підйом, а горизонтальна – за рискання. Вертикальна вісь правого стіку контролює тангаж, а горизонтальна – крен. У програмі діє певна фізична модель (1), тобто квадрокоптер є твердим тілом, на яке діють закони гравітації [1, 8, 9]. При значному зменшенні швидкості обертання гвинтів, БПЛА починає падати на землю і у разі великої сили падіння, може відскакувати від неї на невеликі відстані. Політ БПЛА користувач може здійснювати по невеликій ділянці земної поверхні, що містить нерівності, дерева, в які може врізатися ВМ квадрокоптера та траву. У разі сильного зіткнення із землею або деревом, квадрокоптер втрачає управління та може втрачати контроль.

Система автоматичного повернення БПЛА до стартової точки

Для виконання автоматичного повернення у місце старту квадрокоптера використовується спеціальний алгоритм пошуку найбільш короткого шляху. Таким чином БПЛА уникає можливих зіткнень із усіма відомими перешкодами на своєму шляху. Для пошуку команд, що переміщують квадрокоптер по місцевості, застосовується алгоритм А*.

Алгоритм пошуку А* належить до евристичних алгоритмів пошуку. Використовується для пошуку найкоротшого шляху між двома вершинами графу з додатними вагами ребер. Описаний Пітером Хартом, Нільсом Нільсоном та Бертрамом Рафаелем, алгоритм використовує допоміжну функцію (евристику), аби скеровувати напрям пошуку та скорочувати його тривалість [10, 11]. Алгоритм повний в тому сенсі, що завжди знаходить оптимальний розв'язок, якщо він існує. На рис. 4 продемонстроване візуальне відображення алгоритму.



Рис. 4. Візуалізація реалізованого алгоритму А*

А* покроково переглядає всі шляхи, що ведуть від початкової вершини в кінцеву, поки не знайде мінімальний. Як і усі інформовані щодо проблемної області пошуку алгоритми, він переглядає спочатку ті маршрути, які «здається» ведуть до мети. Від кожного алгоритму, який теж є алгоритмом пошуку по першому найкращому збігу, його відрізняє те, що при виборі вершини він враховує, крім іншого, весь пройдений до неї шлях. Пріоритет шляху визначається за значенням

$$f(x) = g(x) + h(x), \quad (2)$$

де $f(x)$ – вартість вибраного шляху, $g(x)$ – це вартість шляху від початкової вершини, $h(x)$ – це вартість наступного кроку шляху.

На початку роботи проглядаються вузли, суміжні з початковим; вибирається той з них, який має мінімальне значення $f(x)$, після чого цей вузол розкривається. На кожному етапі алгоритм оперує з множиною шляхів з початкової точки до всіх ще не розкритих (листових) вершин графа (множиною часткових рішень), яке розміщується в черзі з пріоритетом. Алгоритм продовжує свою роботу до тих пір, поки значення $f(x)$ цільової вершини не виявиться меншим, ніж будь-яке значення в черзі, або поки все дерево не буде переглянуто. Із множини рішень вибирається рішення з найменшою вартістю.

Згідно з цим алгоритмом, квадрокоптер виконує повернення до точки старту при переході у режим автоматичного керування. Використаний у розробленій програмі алгоритм включає в себе послідовне виконання наступних кроків:

- 1) карта доступної для польоту місцевості розбивається на квадрати певної площі, які відповідно до існуючих об'єктів помічаються як прохідні та непрохідні для квадрокоптера;
- 2) програма знаходить прямий маршрут від точки знаходження квадрокоптера до місця його старту та перевіряє наявність перешкод на шляху по отриманим на попередньому кроці квадратам;
- 3) у разі зустрічі прокладеного маршруту із перешкодою, програма перевіряє інші шляхи до потрібної точки, послідовно перевіряючи усі найближчі варіанти, формуючи «закритий» та «відкритий» списки доступних вузлів на місцевості;
- 4) після того як усі можливі вузли переглянуті, починається пошук найбільш короткого шляху за рахунок тих методів переміщення, що здатні довести літальний апарат до місця призначення;
- 5) вирахувавши оптимальний маршрут для відправки квадрокоптера в точку старту, програма починає його переміщення по прямих лініях через необхідну послідовність вузлів.

Блок-схема реалізованого авторами алгоритму автоматичного повернення БПЛА до стартової точки наведена на рис. 5.

У розробленій програмі при цьому виконується повне відображення всього процесу у трьохвимірному вигляді [12]. Оператор БПЛА може в будь-який момент переключити управління на автоматичний режим завдяки натисненню відповідної кнопки.



Рис. 5. Алгоритм автоматичного повернення БПЛА до стартової точки

За замовчуванням у якості точки старту виступає місцезнаходження квадрокоптера при включенні програми. Але при подальшому приземленні літального апарату на земну поверхню, система автоматично виявляє координати квадрокоптера та змінює точку старту. Оператор може в будь-який момент перервати автоматичний режим польоту, натиснувши ту ж саму кнопку на контролері.

Висновки

Таким чином, було проведено дослідження системи управління безпілотних літальних апаратів та створена програма, що дозволяє виконувати управління БПЛА у вигляді квадрокоптера.

Під час розробки були розглянуті такі види безпілотних засобів як мультикоптери, приведені особливості їх будови, основні принципи їх

управління, розглянуті переваги та недоліки квадрокоптерів.

Також для розуміння поняття авіасимуляторів були вивчені особливості їх класифікації, способи, за якими здійснюється управління в них та базові математичні складові симулятора.

Програма, яка була створена в результаті попередніх дій, була розроблена в середовищі Unity, з використанням скриптів на мові C#. Квадрокоптер, управління яким користувач здійснює за допомогою підключеного джойстика, може здійснювати базові маневри реального прототипу: газ, ризикання, тангаж і крен, задаючи швидкість обертання гвинтів. Також у програмі представлений алгоритм пошуку короткого шляху до точки старту, що дозволяє у будь-який момент повернути БПЛА у місце його запуску. При цьому квадрокоптер автоматично уникає усі перешкоди на своєму шляху завдяки інформації про місцевість, отриману за допомогою знімків місцевості з повітря.

Напрямок подальшого дослідження є робота над створенням повнофункціонального авіасимулятора управління БПЛА для підготовки операторів їх управління. Такий продукт дозволить значно підвищити якість та зменшити вартість підготовки операторів реальних безпілотних систем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Volotskov E. A. Drone's control system research / E. A. Volotskov, A. O. Podorozhniak // Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров'я: XXV МНПК MicroCAD-2018, 16-18.05.2018, Ч. IV. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – С. 159.
- Rattat C. Multicopter selber bauen: Grundlagen – Technik – eigene Modelle / C. Rattat. – Verl., Heidelberg, 2015. – 418 p.
- Walid M., Slaheddine N., Mohamed A. and Lamjed B. "Modeling and control of a quadrotor UAV," 2014 15th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Hammamet, 2014, pp. 343-348. – URL: <http://dx.doi.org/10.1109/STA.2014.7086762>.
- Гурьянов А.Е. Моделирование управления квадрокоптером / А.Е. Гурьянов // Инженерный вестник: Общероссийская общественная организация "Академия инженерных наук им. А.М. Прохорова" 2014. № 8. С. 522-534.
- Савицкий А.В., Павловский В.Е. Модель квадрокоптера и нейросетевой алгоритм управления / А.В. Савицкий, В.Е. Павловский // Препринты ИПМ им. Келдыша. 2017. № 77. – 20 с. – URL: <http://dx.doi.org/10.20948/prepr-2017-77>.
- Белинская Ю.С., Четвериков В.Н. Управление четырехвинтовым вертолетом / Ю.С. Белинская, В.Н. Четвериков // Наука и образование. 2012. № 5. С. 157-171. – URL: <http://dx.doi.org/10.7463/0512.0397373>.
- Голубев А. Е. Отслеживание программного изменения угла атаки для продольной динамики ракеты класса «воздух-воздух» с помощью метода обхода интегратора // Наука и образование. Москва: ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". 2013. № 11. С. 401-414. – URL: <http://dx.doi.org/10.7463/1113.0622518>
- Podorozhniak A., Liubchenko N. Balenko O., Zhuikov D. Neural network approach for multispectral image processing / A. Podorozhniak, N. Liubchenko, O. Balenko, D. Zhuikov // 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET 2018) February 20 – 24, 2018. – Lviv-Slavske, Ukraine: proc. – Lviv, 2018. – pp. 978-981. – URL: <http://dx.doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336357>.
- Прібілев Ю.Б., Подорожняк А.О., Сакович Л.М. Постановка завдання параметричної оптимізації складних технічних систем та можливі підходи до її вирішення / Ю.Б. Прібілев, А.О. Подорожняк, Л.М. Сакович // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка. – вип. 2 (38). – 2016. – С. 48 – 52.
- Hart P.E., Nilsson N.J., Raphael B. Correction to «A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths» / P.E. Hart, N.J. Nilsson, B. Raphael // SIGART Newsletter. – 1972. – Т. 37. – pp. 28-29.
- Нильсон Н. Искусственный интеллект: методы поиска решений / Н. Нильсон. – М.: Мир, 1973. – 273 с.
- Нещадым В.А. Исследование необходимости использования верификации программ / В.А. Нещадым, О.С. Шевцова // матеріали V Всеукраїнської конференції "ІЕБтаЗ" (04 квітня 2013 р., м. Дніпропетровськ): тези доповіді. – Національний гірничий університет, 2013. – С. 15.

REFERENCES

- Volotskov, E.A. and Podorozhniak, A.O. (2018), "Drone's control system research", Proc. 25th Int. conf. "Information technology: science, technology, education, health MicroCAD-2018", part IV, NTU "KhPI", Kharkiv, p. 159.
- Rattat, C. (2015), "Multicopter selber bauen: Grundlagen – Technik – eigene Modelle", Verl., Heidelberg, 418 p.
- Walid, M., Slaheddine, N., Mohamed, A. and Lamjed, B. (2014), "Modeling and control of a quadrotor UAV", 15th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Hammamet, pp. 343-348, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/STA.2014.7086762> (last accessed June 15, 2018).

4. Guryanov, A.E. (2014), "Quadcopter control simulation", *Inzhenernyi vestnik*, Obscherossiyskaya obschestvennaya organizatsiya "Akademiya inzhenernykh nauk im. A.M. Prohorova", No. 8, pp. 522-534.
5. Savitskiy, A.V. and Pavlovskiy, V.E. (2017), "Quadcopter model and neural network control algorithm", *Preprinty IPM im. Keldysha* [Preprints of the IMF named after Keldysh], No. 77, 20 p., available at: <http://dx.doi.org/10.20948/prepr-2017-77> (last accessed June 15, 2018).
6. Belinskaya, Yu.S. and Chetverikov, V.N. (2012), "Four-screw helicopter control", *Nauka i obrazovanie* [Science and education], No. 5, pp. 157-171, available at: <http://dx.doi.org/10.7463/0512.0397373> (last accessed June 15, 2018).
7. Golubev, A. E. (2013), "Tracking software change of angle of attack for longitudinal dynamics of an air-to-air missile using an integrator bypass method", *Nauka i obrazovanie* [Science and education], No. 11, pp. 401-414, available at: <http://dx.doi.org/10.7463/1113.0622518> (last accessed June 15, 2018).
8. Podorozhniak, A., Liubchenko, N., Balenko, O. and Zhuikov, D. (2018), "Neural network approach for multispectral image processing", *14th Int. Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET 2018)*, Lviv-Slavske, Ukraine, pp. 978-981, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336357> (last accessed June 15, 2018).
9. Pribylev, Yu.B., Podorozhniak, A.O. and Sakovich, L.M. (2016), "The formulation of the problem of parametric optimization of complex technical systems and possible approaches to its solution", *Sistemi upravlinnya, navigatsiyi ta zvyazku*, PNTU, Poltava, No. 2 (38), pp. 48-52.
10. Hart, P.E., Nilsson, N.J. and Raphael, B. (1972), "Correction to "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths"", *SIGART Newsletter*, Vol. 37, pp. 28-29.
11. Nilson, N. (1973), *Artificial Intelligence: Methods to Find Solutions*, Mir, Moscow, 273 p.
12. Neschadyim, V.A. and Shevtsova O.S. (2013), "Research on the need for program verification, Materials of the 5th All-Ukrainian Conference "IEBtaZ": abstracts of the report, National Mining University, Dnipropetrovsk, p. 15.

Надійшла (received) 04.07.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 22.08.2018

Исследование системы управления беспилотных летательных аппаратов

А. А. Подорожняк, Е. А. Волоцков, О. С. Шевцова

Предметом изучения в статье является исследование системы управления беспилотных летательных аппаратов для компьютерного симулятора виртуального квадрокоптера. **Цель** – разработка алгоритма автоматического поиска короткого пути для квадрокоптера и исследование методов управления квадрокоптер в программной среде разработанного компьютерного приложения с современным графическим интерфейсом для работы с помощью джойстика с виртуальной моделью беспилотного летательного аппарата. **Задача** – исследование свойств современных винтовых беспилотных летательных средств с выявлением особенностей их функционирования и контроля за их поведением. Рассмотрены основные особенности беспилотных летательных аппаратов на основе квадрокоптерной схемы построения, проведен обзор существующих симуляторов, позволяющих управлять различной авиационной техникой. Приведено описание разработанного интерактивного компьютерного приложения, благодаря которому пользователь осуществляет управление беспилотным летательным аппаратом в виде квадрокоптера. Выявлены особенности перемещения виртуального квадрокоптера в пространстве с учетом всех существующих типов маневров с учетом интеграции современного контроллера для подачи команд летательному аппарату и управления созданным программным интерфейсом. Проведена разработка метода автоматического управления летательным средством, который в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, позволяет выполнять самостоятельное возвращение к точке старта с помощью алгоритма поиска кратчайшего пути. **Выводы:** проведенное исследование системы управления беспилотных летательных аппаратов с использованием разработанного программного симулятора квадрокоптера, который управляется с помощью джойстика или автоматически, показало работоспособность предложенного метода автоматического управления летательным средством в случае возникновения чрезвычайных ситуаций на основе алгоритма поиска короткого пути.

Ключевые слова: система управления; беспилотный летательный аппарат; квадрокоптер, симулятор.

Drone's Control System Research

A. Podorozhniak, Ye. Volotskov, O. Shevtsova

The **subject** of the study in the article is research of the control system of unmanned aerial vehicles for the computer simulator of virtual quadcopter. **The goal** is the development of an algorithm for automatically finding a shortcut for a quadcopter and researching control methods for a quadcopter in a software environment of a developed computer application with a modern graphical interface for working with a joystick with a virtual model of an unmanned aerial vehicle. **The task** is research of the properties of modern screw unmanned aerial vehicles with the identification of features of their functioning and control over their behavior. The main features of unmanned aerial vehicles on the basis of a quadcopter construction scheme are considered, a review of existing simulators allowing control of various aviation equipment is conducted. The description of the developed interactive computer application, thanks to which the user controls the unmanned aerial vehicle in the form of a quadcopter, is given. The features of moving a virtual quadcopter in space, taking into account all existing types of maneuvers, taking into account the integration of a modern controller to issue commands to an aircraft and control the created software interface, are revealed. A method has been developed for automatic control of aircraft, which, in the event of an emergency, allows for an independent return to the starting point using the shortcut search algorithm. **Conclusions:** A study of the control system of unmanned aerial vehicles using the developed quadcopter software simulator, which is controlled by a joystick or automatically, showed the efficiency of the proposed method of automatic control of aircraft in case of emergencies based on the shortcut search algorithm.

Keywords: control system; unmanned aerial vehicle; quadcopter, simulator.