

УДК 629.7.015.7

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/0203-3771382019202951>

М. М. Шеремет<sup>1</sup>, аспірант, О. В. Збруцький<sup>2</sup>, д.т.н., професор

## ВПЛИВ ВІТРОВИХ ЗБУРЕНЬ НА ТОЧНІСТЬ АЛГОРИТМУ ПОЛЬОТУ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ МУЛЬТІКОПТЕРА

**En**

The problem of wind disturbances influence reducing on the accuracy of multi-copter stabilization by developing a stabilization system capable of compensating for these disturbances is considered.

A mathematical model is developed and a multicopter control algorithm is proposed to compensate for the effects of wind disturbances. It is based on adaptation of the PID controller coefficients in the process of operation, most effectively affecting the multicopter response.

A stabilization system has been developed to provide compensation for current disturbances. The stabilization system algorithm, taking into account the readings of a wind speed meter, is implemented on a microcontroller.

Studies of the simulation management system using the Matlab software have been carried out. Flight tests have confirmed the effectiveness of the synthesized adaptive PID controller.

**Ru**

Рассматривается задача уменьшения влияния ветровых возмущений на точность стабилизации мультикоптера путем разработки системы стабилизации, способной компенсировать эти возмущения.

---

<sup>1</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського

<sup>2</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського

Разработана математическая модель и предложен алгоритм управления мультикоптера для компенсации действия ветровых возмущений. Он построен на адаптации в процессе работы коэффициентов ПИД-регулятора, наиболее эффективно влияющих на изменение реакции мультикоптера.

Разработана система стабилизации, обеспечивающая компенсацию действующих возмущений. Алгоритм системы стабилизации, учитывающий показания измерителя скорости ветра, реализован на микроконтроллере.

Проведены исследования системы управления моделированием с использованием программного обеспечения *Matlab*. Летные испытания подтвердили эффективность синтезированного адаптивного ПИД-регулятора.

## **Вступ**

Задачі, які вирішуються на даний час за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), вимагають їх повноцінного приладового оснащення та реалізації сучасних алгоритмів керування [1, 2]. Ці алгоритми можуть враховувати діючі на систему збурення, у тому числі й вітрові. Але вони вимагають задання певної моделі збурення, яка часто не співпадає із реальними збуреннями, та, як правило, є складною у реалізації [3 ... 5]. Розробляються підходи компенсації дії невизначених збурень по реакції на них системи [6 ... 8]. Сучасний БПЛА має високий рівень технічного оснащення, що створює можливість отримувати інформацію про діючі на нього вітрові збурення.

## **Постановка задачі**

Метою статті є розробка системи автоматичного керування мультикоптера, яка б враховувала дію на нього реальних вітрових збурень за показаннями ультразвукових датчиків повітряного тиску (рис. 1), та забезпечувала б компенсацію впливу збурень на точність стабілізації БПЛА.

## **Основні результати. Синтез адаптивної системи керування**

Не ускладнюючи вирішення задачі, розглянемо її, прийнявши як систему автоматичного керування (САК) ПІД-регулятор [1,6] (рис. 2). Тому будемо мати передатну функцію САК (рис. 3). У таблиці показана зміна реакції системи на постійне збурення у разі зміни коефіцієнтів ПІД-регулятора, звідки бачимо, що система найбільш чутлива до зміни коефіцієнта  $K_0$ . Щоб компенсувати вплив вітрового збурення на точність системи керування, потрібно відповідно змінювати значення цього коефіцієнта (рис. 4, рис. 5).



Рис. 1. Розміщення на мультикоптері ультразвукових датчиків повітряного тиску для вимірювання горизонтальної швидкості вітру

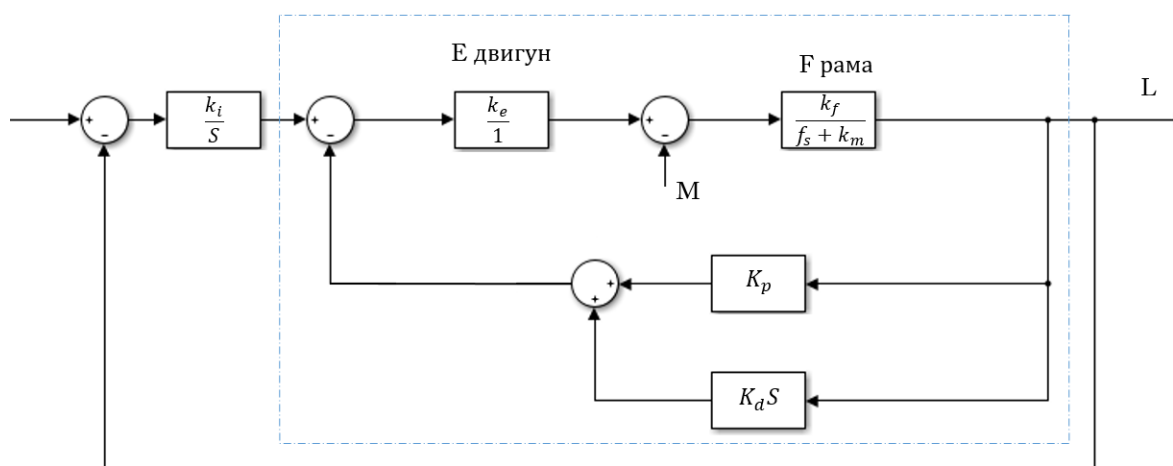


Рис. 2. Структурна схема САК мультикоптера

$$W_{LC}^L = \frac{k_e k_r k_i}{S^3 + (T_e k_m + f + k_D) S^2 + (k_m + k_e k_p k_F) S + k_e k_r k_i} = \frac{W_M^L \cdot W_e \cdot k_i}{S},$$

$$W_M^L = \frac{k_r S}{S^3 + (T_e k_m + f + k_D) S^2 + (k_m + k_e k_p k_F) S + k_e k_r k_i}.$$



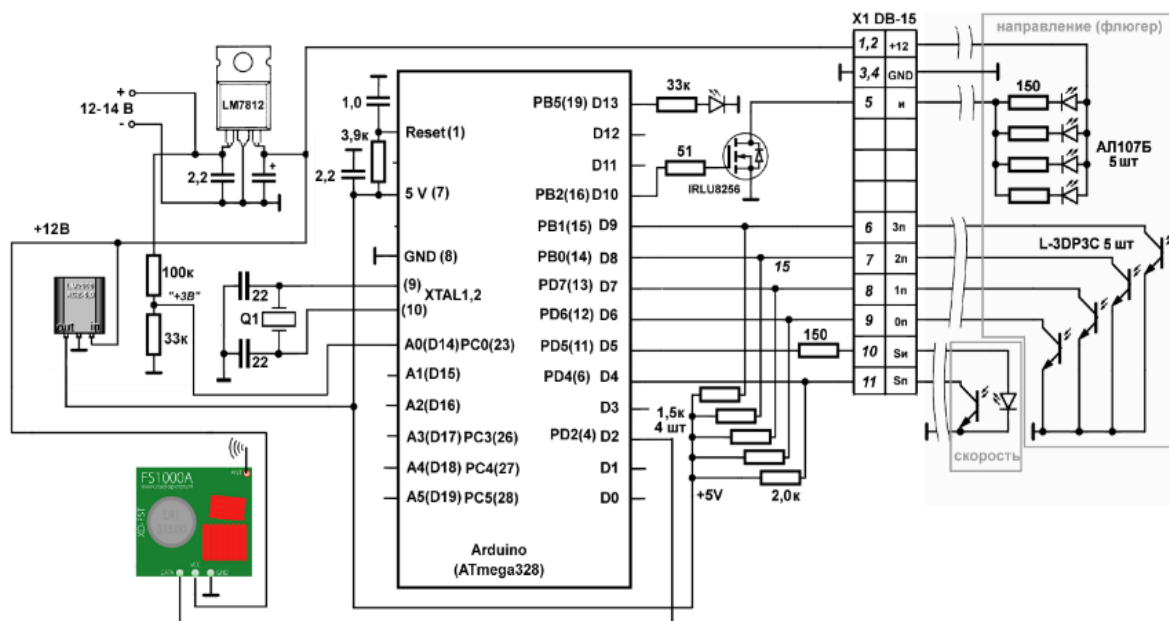


Рис. 5. Принципова схема блоку обробки сигналів датчиків вітру

Якщо у викликаному перериванні таймер зводиться заново, перезавантаження із нуля не відбувається, всі змінні зберігають свої значення. Це дозволяє накопичувати дані від пробудження до пробудження та обробляти їх, наприклад, усереднювати.

### Результати експериментальних досліджень із адаптивною системою керування мультикоптера

Результати моделювання параметрів мультикоптера представлені на рис. 6 ... рис. 8. Кутове положення стабілізується через 5 с. Мультикоптер набуває положення близько до запланованого через 4 с.

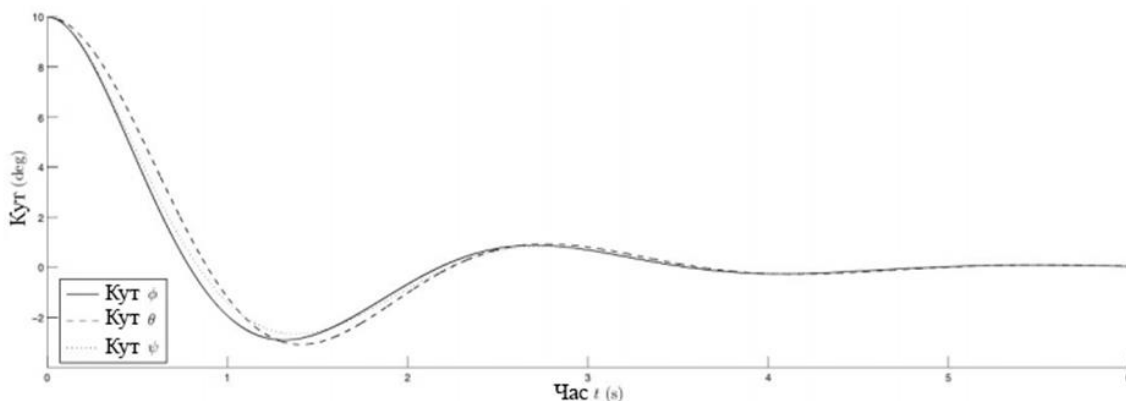


Рис. 6. Зміна кутового положення мультикоптера із адаптивною системою керування

Стабільність кутових положень при моделюванні (моделювання у середовищі *Log Browser*) підтверджує можливість досягнення запланованої позиції, швидкості та прискорення мультикоптера із адаптивним алгоритмом керування. Експериментальна перевірка синтезованого алгоритму показана на рис. 9, де ділянка польоту обмежена штрих-пунктирними сторонами прямокутника.

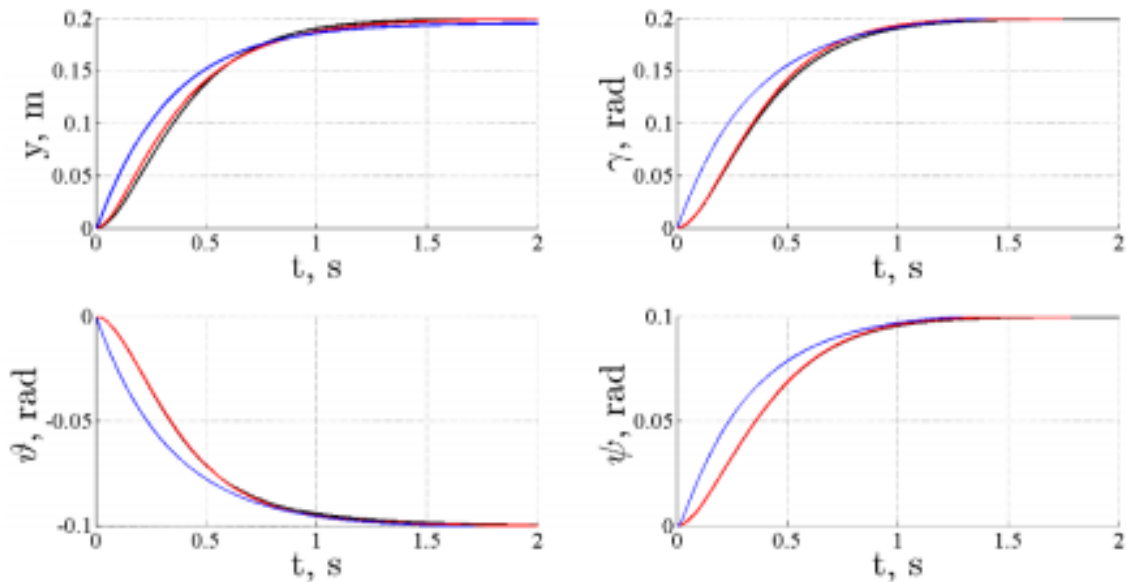


Рис. 7. Зміна положення мультикоптера у разі використання алгоритму адаптивного керування

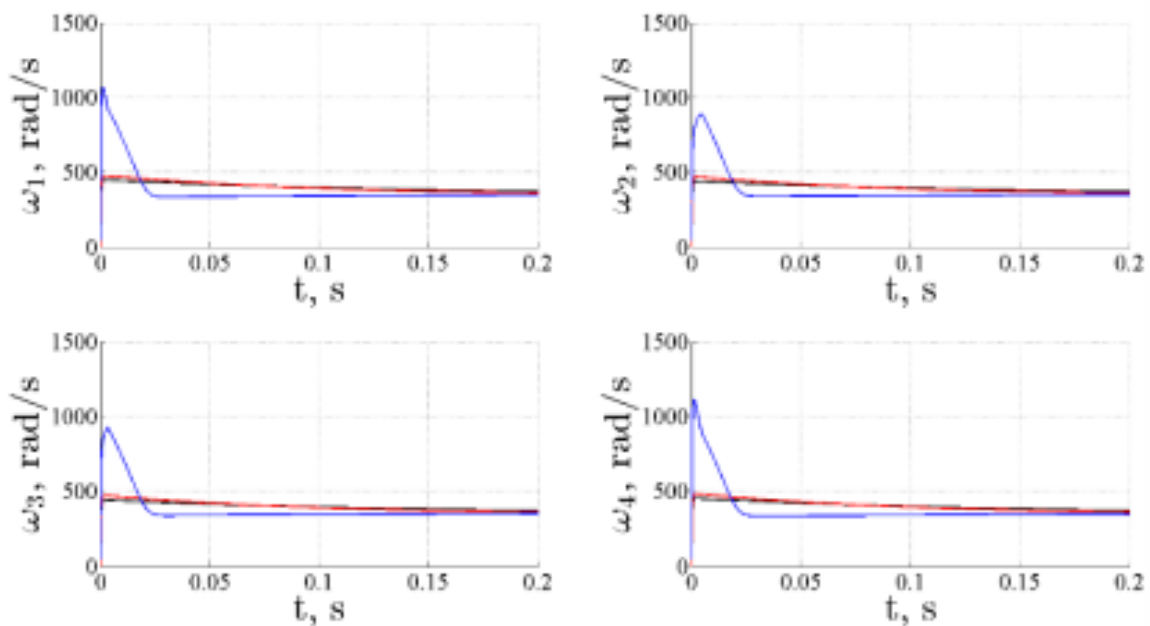


Рис. 8. Зміна кутових швидкостей мультикоптера у разі використання алгоритму адаптивного керування

## Системи та процеси керування

Графік жовтого кольору показує політ зі стандартним алгоритмом керування (рис. 2.), а графік червоного кольору – політ із адаптивним алгоритмом та ультразвуковим датчиком вітру (рис. 4).



Рис. 9. Моніторинг роботи системи із адаптивним алгоритмом керування

### Висновки

Адаптивна система компенсації вітрових збурень, що використовує ультразвуковий датчик вітру, дозволяє збільшити стійкість мультикоптера до зовнішнього збурення порівняно зі звичайним ПД-регулятором, який використовуються у багатьох системах керування таким типом БПЛА.

Оскільки поступальний рух мультикоптерних апаратів залежить від нахилу БПЛА, то зменшення реакції апарату на зовнішнє вітрове збурення покращує одночасно поведінку мультикоптера у поступальному русі із його центром мас.

Результати моделювання показують хорошу ефективність і якість адаптивної системи із ПД-регулятором, яка дозволяє керувати траєкторією та висотою польоту мультикоптера.

### Список використаної літератури

1. UAV Chanel. Honeywell MAV. [Електронний ресурс]: відео-хостинг. Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=94IVDFauOLO> (дата звернення 01.05.2012).
2. Spherical flight vehicle with single rotor using 4 control surface. Young Baе Lee. [Електронний ресурс]: відео-хостинг. Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=55d5ppwQBQ4> (дата звернення 21.12.2013).
3. Никифоров В. О. Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений / В. О. Никифоров – СПб., Наука, 2003.–282с.

4. *Кунцевич В. М.* Управление и идентификация в условиях неопределенности: результаты и нерешенные проблемы / В. М. Кунцевич// *Радиоелектронні і комп'ютерні системи.* – 2007. – №5. – С. 34–46.
5. *Ioannou P.* Robust Adaptive Control/ Ioannou P.–Prentice Hall,1996 – 244 P.
6. *Збруцький О. В.* Синтез системи керування гарантованої точності /О. В. Збруцький, А. О. Прач// *Наук. вісті НТУУ «КПІ».*–2007. – №5.– С. 54–58.
7. *Zbrutsky A.* External disturbances compensation for a control system with dynamic feedback / A. Zbrutsky, A. Prach // *XV St.-Petersb. International Conference on Integrated Navigation Systems.*–2008 – P. 141–144.
8. *Zbrutska I.* Dynamic system quality providing under undetermined disturbances. Multi-dimensional case / I. Zbrutska// *Information and Engineering Systems. International Book. Series N 11.* – «Intelligent Engineering». – 2009. – P. 136–139.