

DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2022-2\(90\)-59-69](https://doi.org/10.26642/ten-2022-2(90)-59-69)  
УДК 504.064

**А.Г. Ткачук, к.т.н., доц.**  
*Державний університет «Житомирська політехніка»*  
**О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.**  
*НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»*  
**О.О. Добржанський, к.т.н., доц.**  
**А.А. Гуменюк, к.т.н., доц.**  
**В.М. Янчук, к.т.н., доц.**  
*Державний університет «Житомирська політехніка»*

## **Налаштування польотного контролера та системи стабілізації безпілотного літального апарата із системою моніторингу наявності пожеж та витоків теплової енергії на борту**

*Розглянуто нову мобільну автоматизовану систему моніторингу наявності пожеж та витоків теплової енергії на базі безпілотного літального апарата. Приведено спроектовану конструкцію безпілотного літального апарата, її 3D-модель для друку окремих деталей та збору лабораторного експериментального зразка. Проведено налаштування польотного контролера безпілотного літального апарата, а саме Pixhawk та системи стабілізації польоту. Детально та покроково описано процедуру налаштування контролера за допомогою програмного забезпечення Mission Planner. Звернено увагу на налаштування датчиків польотного контролера та калібрування компаса. Показано, як відбувається програмування регуляторів ходу. Контролери є багаторівневими, що означає, що контролер більш високого рівня передає свої результати до контролера нижчого рівня. Встановлено, що контролер безпілотного літального апарата найнижчого рівня – це регулятор швидкості, потім контролер положення. Проведено налаштування ПІД-регулятора, яке виконується у встановленому порядку, починаючи з регулятора швидкості. Зазначено також опис налаштування пульта керування безпілотним літальним апаратом.*

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат; моніторинг; контролер; стабілізація; компас.

**Актуальність теми.** Сьогодні використання інтелектуальних роботизованих комплексів у різних сферах діяльності суспільства стрімко розширюється. Основною тенденцією їх розвитку є інтелектуалізація та автономізація, що відображається у спробах створити повноцінні автономні роботи (дрони), які здатні у реальному часі оцінювати, планувати, приймати рішення та здійснювати різноманітні операції у складних ситуаціях.

Сьогодні безпілотні літальні апарати (БПЛА) широко використовуються для рятувальних цілей, пошуку та порятунку потерпілих, інспектування будівель та промислової інфраструктури, військових цілей, моніторингу екосистем та боротьби з лісовими пожежами. Що в свою чергу сприяє розвитку високоточної локалізації та співпраці на рівні людина–робот.

БПЛА охоплюють широкий діапазон різних платформ, які, завдяки своєму розміру, вазі та потужності, мають різні функціональні можливості. Ці фактори впливають на вантажопідйомність, швидкість, висоту підйому та різноманітність місій БПЛА.

Незважаючи на те, що так звані міні-БПЛА (квадрокоптери) мають значні обмеження по вантажопідйомності, вони мають суттєві переваги з точки зору низької собівартості платформи, здатності виконувати автономні польоти та літати близько до землі. Заздалегідь запрограмовані маршрути польоту автоматично контролюються на борту, тобто БПЛА можуть слідувати траєкторії з більшою точністю, ніж літаки, що керуються пілотами. Деякі платформи навіть мають можливість працювати в середовищах без GPS-навігації і таким чином можуть забезпечити ефективний та точний моніторинг всередині будівель, лісів, кар'єрів тощо.

Тому проектування різноманітних автоматизованих систем на базі БПЛА сьогодні є, безсумнівно, актуальними.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** Завдання зі своєчасного виявлення пожеж та джерел їх займання й оперативне реагування є запорукою збереження екосистеми України та життів населення, в якому ключовим параметром є час, за який здійснюється моніторинг місцевості. БПЛА продемонстрували свою ефективність у пошуково-рятувальних місіях, проте зі збільшенням зони спостереження одного БПЛА не достатньо. Існує також декілька наукових напрямів у

сфері моніторингу рівня забрудненості повітря. Більшість з них пов'язана з моніторингом на відкритій місцевості, але інколи зустрічаються дослідження і у приміщеннях.

У [1] запропоновано мережу бездротових датчиків, яка складається з наземної станції з автономними вузлами. Кожен вузол оснащений різними датчиками для вимірювання вологості, температури, рівня освітленості та забруднення повітря.

У [2] та [3] вказано недоліки систем, описаних у [1], а саме те, що вони є стаціонарними, а не мобільними.

У [4, 5] зазначено результати досліджень локалізації вибухонебезпечних газів на відкритому повітрі. Описано систему, що здатна виконувати пошук газів за різними сценаріями забруднення. Таку систему вдосконалено, враховуючи непередбачуваний характер розсіювання газу, що описано в [6].

Системи-аналоги до тих, які описано в [4–7], було реалізовано у роботах [7, 8], де датчик газу було встановлено на міні-БПЛА. Досліджено процес зниження споживання електроенергії БПЛА та датчиком газу для пошуку різних органічних речовин. За основу було взято гексакоптер та метал-оксидний датчик газу. Результати експериментів цього БПЛА показали достатньо гарні показники якості системи.

У [9, 10] досліджено можливість керування (пілотування) міні-БПЛА у складі мобільної безпроводної системи, де основним джерелом живлення для нього та системи є сонячні мініелектростанції.

У статтях [11, 12] описано потенційно можливу конструкцію БПЛА для використання в цілях моніторингу забрудненості повітря шкідливими для здоров'я людини газами.

**Метою статті** є налаштування системи стабілізації та польотного контролера БПЛА із системою моніторингу наявності пожеж та витоків теплової енергії на борту.

**Викладення основного матеріалу.** Науковцями Державного університету «Житомирська політехніка» розроблено мобільну автоматизовану платформу для проведення моніторингу наявності пожеж та витоків теплової енергії на базі БПЛА. На першому етапі розробки було спроектовано та виготовлено БПЛА (рис. 1), на який має монтуватися система моніторингу [13].



Рис. 1. Повномасштабна 3D-модель БПЛА

На другому етапі постало завдання налаштування польотного контролера БПЛА Pixhawk.

Для налаштувань використано програмний продукт Mission Planner – станція наземного управління для БПЛА, яка сумісна лише з ОС Windows. За допомогою Mission Planner можна здійснювати налаштування низькорівневої прошивки БПЛА для оптимальної роботи, завантажувати журнал попередніх місій, створених автопілотом.

Щоб провести початкові налаштування та встановлення ОС на Pixhawk, необхідно:

1. Запустити Mission Planner;
2. Підключити Pixhawk до комп'ютера за допомогою USB-кабелю;
3. Перейти до пункту меню Initial setup та обрати підпункт Install Firmware (рис. 2);
4. Обрати пункт APM Copter V3.5.7 Quad;
5. Програма запропонує від'єднати USB-кабель, натиснути ОК і під'єднати USB-кабель знову, після чого почнеться встановлення ОС на контролер польоту;
6. Після завершення установки натиснути кнопку Connect та перейти до підпункту Wizard;
7. У вікні Wizard обирати пункт Multirotor, потім обирати чотирипроменевий тип рами (рис. 3).

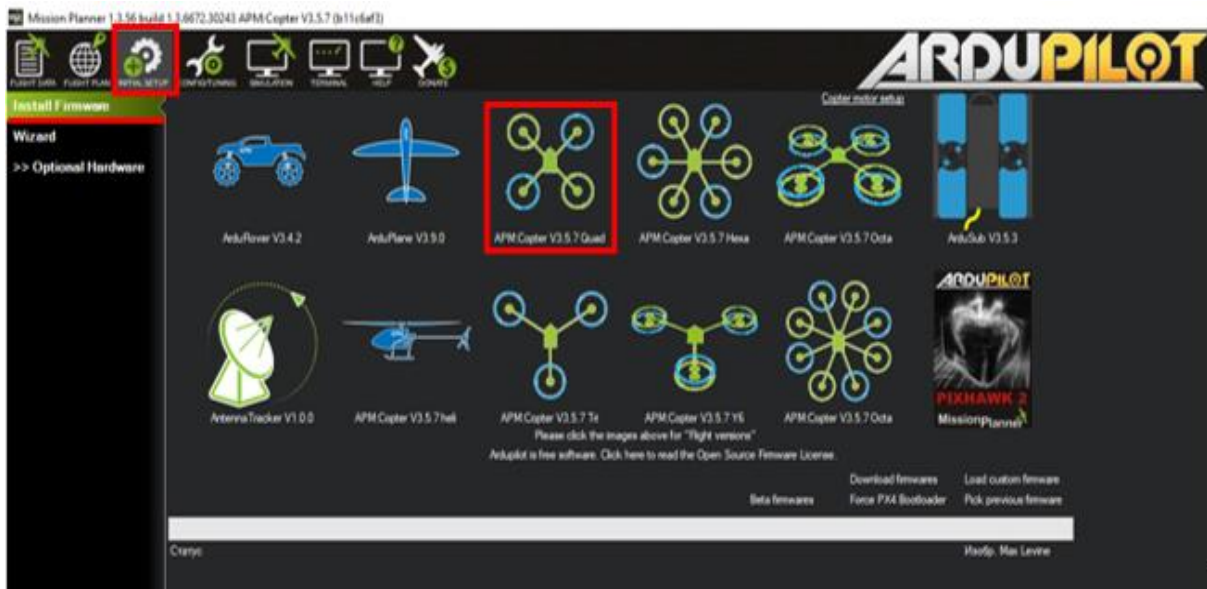


Рис. 2. Пункт меню Mission Planner Initial setup

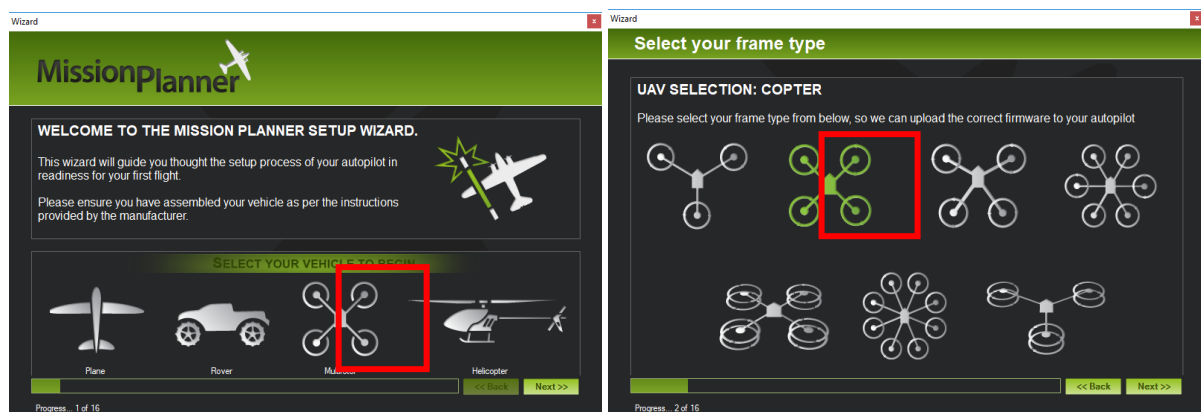


Рис. 3. Вибір пунктів Multirotor та чотирипроменевий тип рами

**Налаштування датчиків польотного контролера.** Проводимо калібрування акселерометра. Для цього виконуємо дії, що вказані на рисунках 4–9.

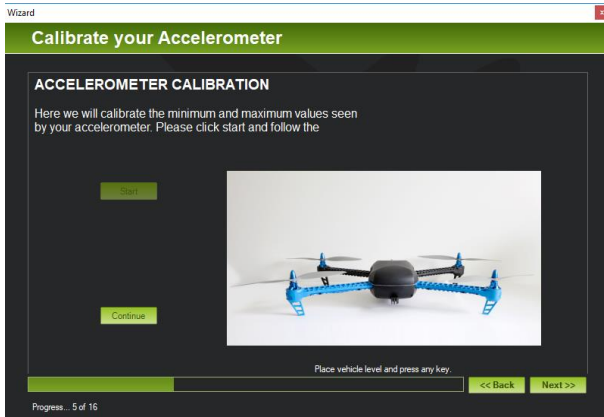


Рис. 4. Вікно калібрування пропонує поставити апарат на рівну поверхню

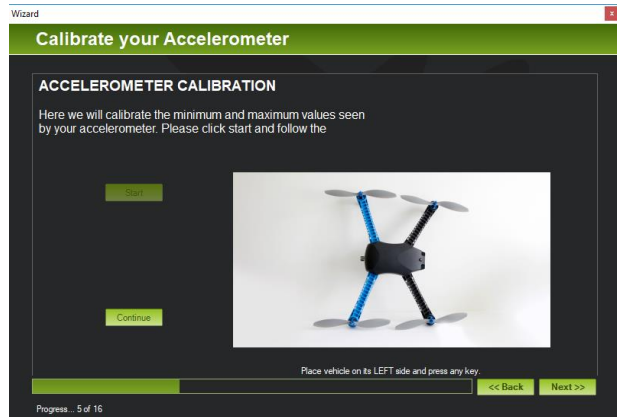


Рис. 5. Вікно калібрування пропонує поставити апарат на лівий бік

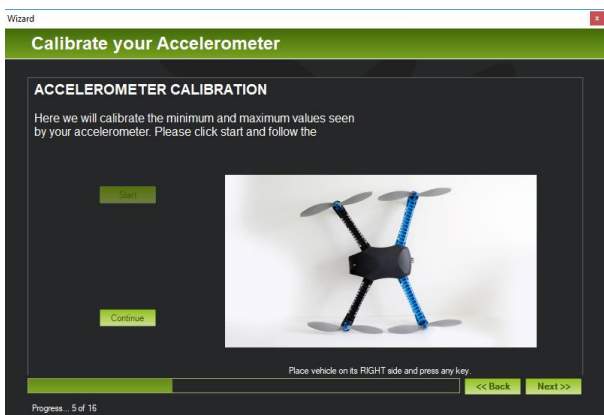


Рис. 6. Вікно калібрування пропонує поставити апарат на правий бік

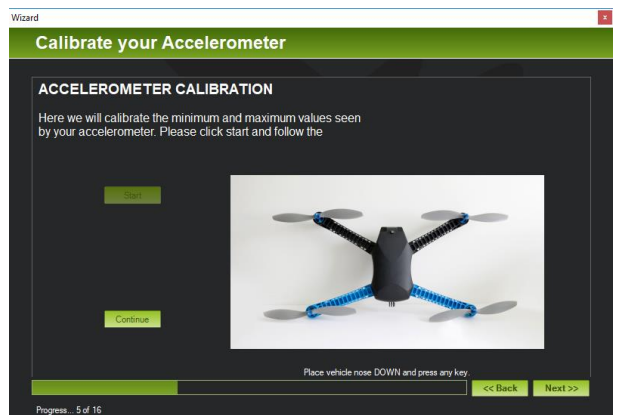


Рис. 7. Вікно калібрування пропонує поставити апарат носовою частиною вниз

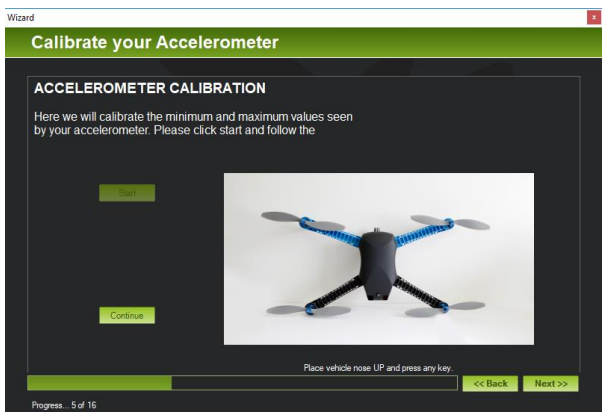


Рис. 8. Вікно калібрування пропонує поставити апарат носовою частиною вверх

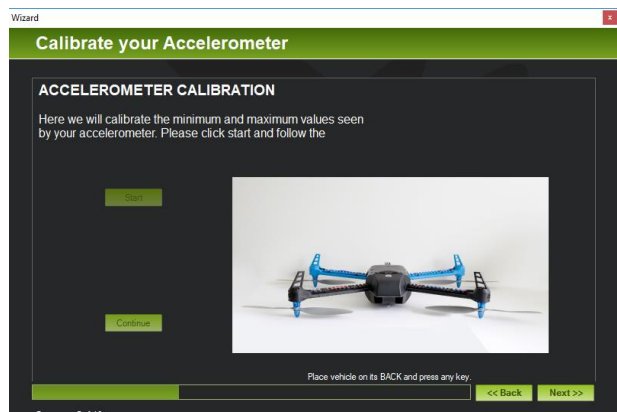


Рис. 9. Вікно калібрування пропонує поставити апарат гвинтами донизу

**Калібрування компаса.** Натискаємо кнопку Live calibration, прибираємо відмітку Use Auto Accept і повертаємо БПЛА по кожній з осей (рис. 10). Отримаємо графік як на рисунку 11.

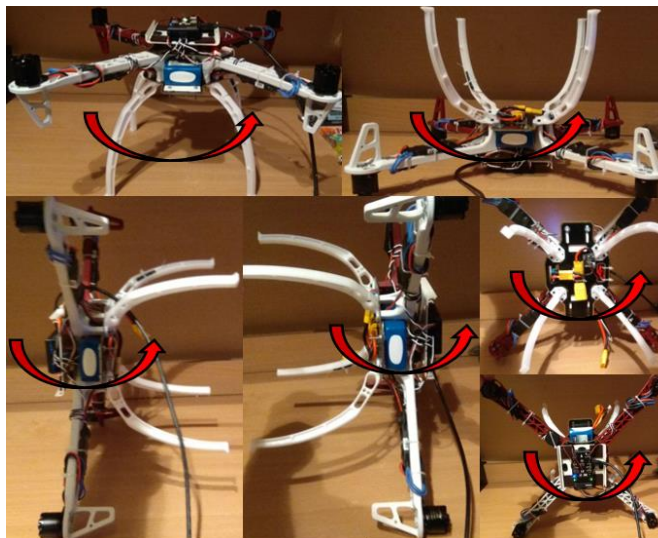


Рис. 10. Обертання БПЛА для калібрування компаса

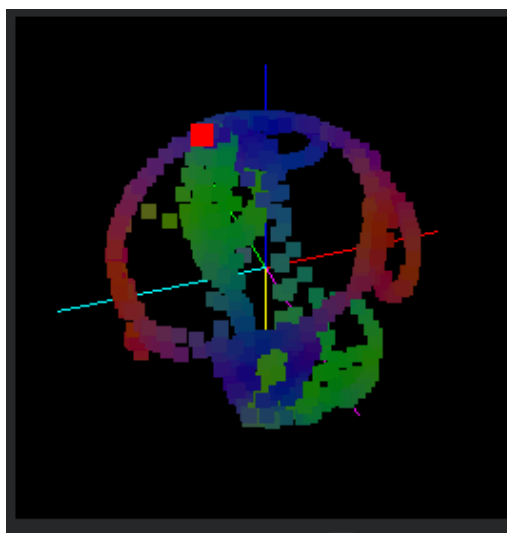


Рис. 11. Кінцевий графік заповнення осей точками калібрування

Наступним кроком задається ємність акумулятора, що використовується. У спроектованій системі це 5000 мАг. Далі у вікні Radio calibration натискаємо Continue, після чого з'являється вікно Radio endpoint calibration, де натискаємо Calibrate radio, після чого потрібно задіяти по максимуму всі важелі пульта керування, які прив'язані до каналів з 1-го по 8-й. У вікні Flight Modes у випадяючому списку Flight mode 1 обираємо Loiter, Flight mode 4 – Stabilize, Flight mode 4 – AltHold. У вікні Verify робимо Pre-Arm Test, для цього необхідно одночасно затиснути Safe Button та нахилити важіль тяги в нижній правий край, після чого пункт Verify Pre-Arm Test підсвітиться зеленим.

**Налаштування Failsafe та програмування регуляторів ходу.** Після завершення попереднього калібрування переходимо в пункт Mandatory Hardware, там переходимо в підпункт Failsafe. У налаштуванні під назвою Battery у випадяючому списку Low Battery вписуємо значення 10,5, в Reserved mAh вписуємо – 800 та в останньому випадяючому списку обираємо Land. Далі переходимо до параметра ESC Calibration. Після натискання Calibrate ESCs потрібно відключити USB та батарею, підняти важіль тяги догори, увімкнути батарею, коли світлодіод почне мерехтіти червоним, зеленим та синім кольором, потрібно натиснути Safe Button на квадрокоптері.

Регулятори швидкості просигналізують двома короткими гудками – це означатиме, що верхня точка тяги знайдена. Після цього опускаємо важіль тяги вниз. На цю дію регулятори просигналізують трьома короткими гудками (тобто використовується 3-комірочна батарея) та одним довгим. Відключаємо батарею і повторюємо дії описані вище включно до натискання Safe Button. Очікуємо 4–5 секунд, регулятори швидкості просигналізують спеціальним звуковим сигналом про те, що ми увійшли до режиму програмування. Далі, керуючись довідковими сигналами та таблицями, чекаємо переходу на

п'ятий рядок. Опускаємо важіль тяги, далі чекаємо переходу на 3 стовпчик і піднімаємо важіль тяги. Чекаємо переходу на дванадцятий рядок, опускаємо важіль тяги, чекаємо переходу на 3 стовпчик і піднімаємо важіль тяги. Виходимо з режиму програмування, перейшовши на чотирнадцятий рядок, після чого знову опускаємо важіль тяги.

Одним із основних етапів налаштування БПЛА є налаштування ПД-регулятора. Pìxhawk використовує пропорційні, інтегральні та ПД-контролери. Контролери є багаторівневими, тобто контролер більш високого рівня передає свої результати до контролера нижчого рівня. Контролер найнижчого рівня у БПЛА – це регулятор швидкості, потім контролер положення. Налаштування ПД-регулятора має виконуватися у тому ж порядку, починаючи з регулятора швидкості.

**Регулятори швидкості.** Контролер швидкості є внутрішнім контуром з трьома незалежними ПД-регуляторами для управління напрямленнями корпусу:

- Контроль повороту по осі X – «Roll» (MC\_ROLLRATE\_P, MC\_ROLLRATE\_I, MC\_ROLLRATE\_D);
- Контроль повороту по осі Y – «Pitch» (MC\_PITCHRATE\_P, MC\_PITCHRATE\_I, MC\_PITCHRATE\_D);
- Контроль повороту по осі Z – «Yaw» (MC\_YAWRATE\_P, MC\_YAWRATE\_I, MC\_YAWRATE\_D).

Параметри та їх значення наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

## ПД-параметри регулятора швидкості

Назва	Опис	Налаштоване значення
MC_ROLLRATE_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Roll». Коментар: керуючий вихід для помилки кутової швидкості 1 рад/с	0,135
MC_ROLLRATE_I (FLOAT)	Зміна І-складової «Roll» Коментар: може бути встановлений для компенсації різниці статичної тяги або зміщення центру ваги	0,9
MC_ROLLRATE_D (FLOAT)	Зміна Д-складової «Roll». Коментар: малі значення допомагають зменшити швидкі коливання. Якщо значення занадто велике, коливання з'являться знову	0,0036
MC_PITCHRATE_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Roll». Коментар: керуючий вихід для помилки кутової швидкості 1 рад/с	0,254
MC_PITCHRATE_I (FLOAT)	Зміна І-складової «Roll». Коментар: може бути встановлений для компенсації різниці статичної тяги або зміщення центру ваги	0,7544
MC_PITCHRATE_D (FLOAT)	Зміна Д-складової «Pitch». Коментар: малі значення допомагають зменшити швидкі коливання. Якщо значення занадто велике, коливання з'являться знову	0,0092
MC_YAWRATE_P (FLOAT)	Зміна П-складової «Yaw». Коментар: керуючий вихід для помилки кутової швидкості 1 рад/с	0,415
MC_YAWRATE_I (FLOAT)	Зміна І-складової «Yaw». Коментар: може бути встановлений для компенсації різниці статичної тяги або зміщення центру ваги	0,552
MC_YAWRATE_D (FLOAT)	Зміна Д-складової «Yaw». Коментар: може бути встановлений для компенсації різниці статичної тяги або зміщення центру ваги	0,00223

Регулятор положення управляє орієнтацією за допомогою таких параметрів (табл. 2–3):

- Контроль «Roll» (MC\_ROLL\_P);
- Контроль «Pitch» (MC\_PITCH\_P);
- Контроль «Yaw» (MC\_YAW\_P).



Таблиця 2

## P-параметри регулятора положення

Назва	Опис	Налаштоване значення
MC_ROLL_P (FLOAT)	Зміна P-складової «Roll». Коментар: необхідна кутова швидкість X в рад/с для помилки 1 рад	0,547
MC_PITCH_P (FLOAT)	Зміна P-складової «Pitch» Коментар: необхідна кутова швидкість Y в рад/с для помилки 1 рад	0,765
MC_YAW_P (FLOAT)	Зміна P-складової «Yaw» Коментар: необхідна кутова швидкість Z в рад/с для помилки 1 рад	0,744

Контролер орієнтації набагато простіше налаштувати. Фактично більшу частину значень можна лишити за замовчуванням. Щоб налаштувати регулятор положення, необхідно перейти в стабілізований режим і поступово збільшувати коефіцієнт P. Якщо помітні коливання або викиди, посилення занадто велике. Наступні параметри також можуть бути скориговані. Вони визначають максимальні швидкості обертання навколо всіх трьох осей:

- Максимальна «Roll» (MC\_ROLLRATE\_MAX);
- Максимальна «Pitch» (MC\_PITCHRATE\_MAX);
- Максимальна «Yaw» (MC\_YAWRATE\_MAX) [13].

Таблиця 3

## P-параметри регулятора положення

Назва	Опис	Налаштоване значення
MC_ROLLRATE_MAX (FLOAT)	Макс. «Roll» значення	850
MC_PITCHRATE_MAX (FLOAT)	Макс. «Pitch» значення	850
MC_YAWRATE_MAX (FLOAT)	Макс. «Yaw» значення	850

Для налаштування за допомогою функції AutoTune переходимо у вкладку Config Tuning, обираємо пункт Extended Tuning. У випадаючому списку Ch7 Opt обираємо параметр Auto Tune (рис. 12). Для виконання функції Auto Tune необхідно підняти БПЛА у повітря в безвітряному або маловітряному просторі у режимі AltHold. Увімкнути перемикач, що прив'язаний до сьомого каналу RC приймача.

Після чого почнеться процес автотюну тривалістю 12–15 хвилин. По його завершенню прозвучить спеціальний сигнал, після чого необхідно приземлити БПЛА. Цей процес можна повторювати кілька разів, якщо результат виконання автотюну нас не влаштовує [13].

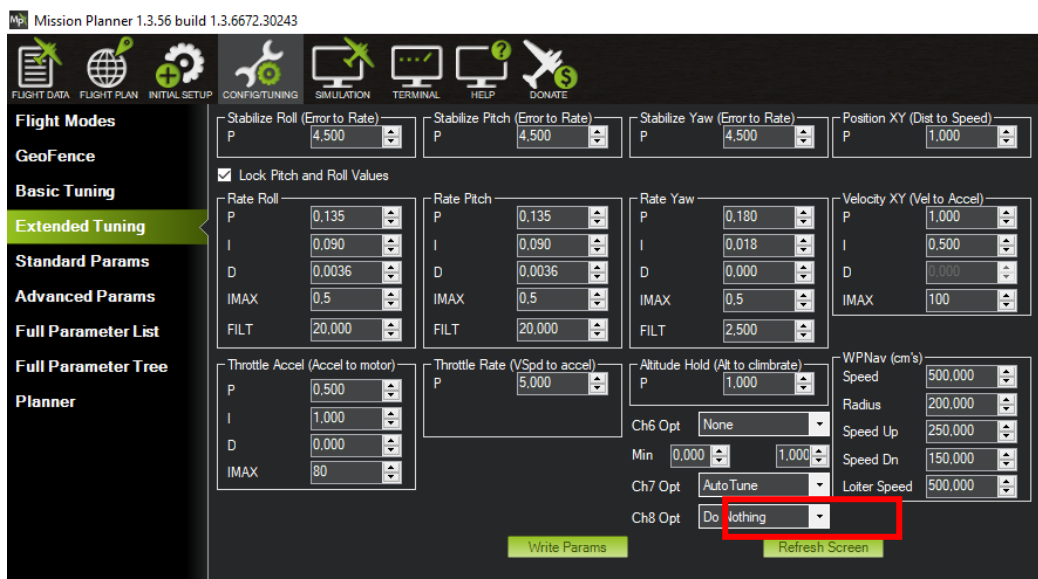


Рис. 12. Вікно Extended Tuning та прив'язка функції Auto Tune до 7-го каналу

Для налаштування за допомогою функції Save Trim переходимо у вкладку Config Tuning, обираємо пункт Extended Tuning та у випадаючому списку Ch7 Opt обираємо параметр Save Trim (рис. 13).

Для виконання функції Save Trim необхідно знову підняти БПЛА у повітря в безвітряному або маловітряному просторі у режимі Stabilize. Потім за допомогою кнопок корекції зміщення на пульті керування (14) корегуємо крен БПЛА, зміщуючи їх в протилежний бік. Це робиться до тих пір, поки БПЛА зможе стабільно зависати у повітрі [13].



Рис. 13. Вікно Extended Tuning та прив'язка функції Save Trim до 7-го каналу



Рис. 14. Кнопки корегування зміщення на пульті керування

Після чого садимо БПЛА на землю, блокуємо запуск (важіль тяги в нижній лівий кут) та вмикаємо перемикач, що прив'язаний до сьомого каналу RC приймача та повертаємо значення кнопок кореляції зміщення у початкові позиції.

Цей процес також можна повторювати кілька разів, якщо результат виконання корегування нас не влаштовує.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Розглянуто нову мобільну автоматизовану систему моніторингу наявності пожеж та витоків теплової енергії на базі безпілотного літального апарата. Цей проєкт розроблено з метою: моніторингу наявності пожеж та визначення потенційних



джерел їх займання в екосистемах України; проведення рятувальних робіт, пошуку та евакуації потерпілих; проведення пошуку витоків газів вздовж магістралей; проведення пошуку витоків теплової енергії в спорудах житлового та нежитлового призначення (енергоаудит) тощо. Приведено спроектовану конструкцію безпілотного літального апарата. Проведено налаштування польотного контролера безпілотного літального апарата, а саме Pixhawk та системи стабілізації польоту. Детально та покроково описано процедуру налаштування контролера за допомогою програмного забезпечення Mission Planner. Звернено увагу на налаштування датчиків польотного контролера та калібрування компаса. Встановлено, що контролер безпілотного літального апарата найнижчого рівня – це регулятор швидкості, потім контролер положення. Проведено налаштування ПІД-регулятора, яке виконується у встановленому порядку, починаючи з регулятора швидкості. Приведено також опис налаштування пульта керування безпілотним літальним апаратом.

#### Список використаної літератури:

1. Wireless sensor network for indoor air quality monitoring / J.Lozano, J.I. Suárez, P.Arroyo and other // *Chemical Engineering*. – 2012, № 30 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cutt.ly/wMtEAqX>.
2. Wireless sensor networks for indoor air quality monitoring / T.-C. Yu, C.-C. Lin, C.-C. Chen and other // *Medical engineering & physics*. – 2013. – № 35 (2). – P. 231–235 [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350453311002761>. DOI: 10.1016/j.medengphy.2011.10.011.
3. Wireless sensor network for indoor air quality monitoring / T.-C. Yu, C.-C. Lin, C.-C. Chen and other // *Medical Engineering & Physics*. – 2014 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cutt.ly/LMtEKjW>.
4. Bartholmai M. Micro-drone for gas measurement in hazardous scenarios via remote sensing / M.Bartholmai, P.Neumann // *Selected Topics in Power Systems and Remote Sensing*. – 2010. – P. 149–152 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cutt.ly/EMtECiv>.
5. Micro-drone for the characterization and self-optimizing search of hazardous gaseous substance sources: A new approach to determine wind speed and direction / P.Neumann, M.Bartholmai, J.H. Schiller and other // *Robotic and Sensors Environments (ROSE), 2010 IEEE International Workshop on*, 2010. – P. 1–6 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cutt.ly/cMpsmet>. DOI: 10.1109/rose.2010.5675265.
6. An artificial potential field based sampling strategy for a gas-sensitive micro-drone / P.Neumann, S.Asadi, J.H. Schiller and other // *IROS Workshop on Robotics for Environmental Monitoring (WREM)*. – 2011. – P. 34–38 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cutt.ly/gMtEMjn>.
7. Gas-drone: Portable gas sensing system on UAVs for gas leakage localization / M.Rossi, D.Brunelli, A.Adami and other // *Sensors, IEEE*. – 2014. – P. 1431–1434 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cutt.ly/yMtE278>.
8. Autonomous measurement drone for remote dangerous source location mapping / P.Croizé, M.Archez, J.Boisson and other // *International Journal of Environmental Science and Development*. – 2015. – № 6 (5). – P. 391 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cutt.ly/aMtE7sr>. DOI: 10.7763/IJESD.2015.V6.624.
9. Development and integration of a solar powered unmanned aerial vehicle and a wireless sensor network to monitor greenhouse gases / A.Malaver, N.Motta, P.Corke, F.Gonzalez // *Sensors*. – 2015. – № 15. – P. 4072–4096 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cutt.ly/LMtRwO9>. DOI: 10.3390/s150204072.
10. Koval A. Mobile wireless system for outdoor air quality monitoring / A.Koval, E.Irigoyen // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2017. – Vol. 251. – P. 139–145 [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.scientific.net/SSP.251.139>.
11. Koval A. AR.Drone as a platform for measurements / A.Koval, E.Irigoyen, T.Koval // *Proceedings of IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. – 2017. – Vol. 251. – P. 1–6 [Electronic resource]. – Access mode : <https://ieeexplore.ieee.org/document/7939812>.
12. Koval A. Quadrotor Design for Outdoor Air Quality Monitoring / A.Koval, Y.Koziar, V.Levchuk // *Proceedings of IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. – 2019. – P. 736–739 [Electronic resource]. – Access mode : <https://ieeexplore.ieee.org/document/8783909>.
13. Автоматизована система моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів на основі міні безпілотних літальних апаратів : монографія / А.Г. Ткачук, А.В. Коваль, А.А. Гуменюк, М.В. Богдановський. – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2021. – 145 с.

#### References:

1. Lozano, J., Suárez, J.I., Arroyo, P. et al. (2012), «Wireless sensor network for indoor air quality monitoring», *Chemical Engineering*, No. 30, [Online], available at: <https://cutt.ly/wMtEAqX>
2. Yu, T.-C., Lin, C.-C., Chen, C.-C. et al. (2013), «Wireless sensor networks for indoor air quality monitoring», *Medical engineering & physics*, No. 35 (2), pp. 231–235, [Online], available at: <https://cutt.ly/pMpsl5s>, doi: 10.1016/j.medengphy.2011.10.011.
3. Yu, T.-C., Lin, C.-C., Chen, C.-C. et al. (2014), «Wireless sensor network for indoor air quality monitoring», *Medical Engineering & Physics*, [Online], available at: <https://cutt.ly/LMtEKjW>
4. Bartholmai, M. and Neumann P. (2010), «Micro-drone for gas measurement in hazardous scenarios via remote sensing», *Selected Topics in Power Systems and Remote Sensing*, pp. 149–152, [Online], available at: <https://cutt.ly/EMtECiv>

5. Neumann, P., Bartholmai, M., Schiller, J.H. et al. (2010), «Micro-drone for the characterization and self-optimizing search of hazardous gaseous substance sources: A new approach to determine wind speed and direction», *Robotic and Sensors Environments (ROSE), 2010 IEEE International Workshop on*, pp. 1–6, [Online], available at: <https://cutt.ly/cMpsmet>, doi: 10.1109/rose.2010.5675265.
6. Neumann, P., Asadi, S., Schiller, J.H. et al. (2011), «An artificial potential field based sampling strategy for a gas-sensitive micro-drone», *IROS Workshop on Robotics for Environmental Monitoring (WREM)*, pp. 34–38, [Online], available at: <https://cutt.ly/gMtEMjn>
7. Rossi, M., Brunelli, D., Adami, A. et al. (2014), «Gas-drone: Portable gas sensing system on UAVs for gas leakage localization», *Sensors, IEEE*, pp. 1431–1434, [Online], available at: <https://cutt.ly/yMtE278>
8. Croizé, P., Archez, M., Boisson, J. et al. (2015), «Autonomous measurement drone for remote dangerous source location mapping», *International Journal of Environmental Science and Development*, No. 6 (5), pp. 391, [Online], available at: <https://cutt.ly/aMtE7sr>, doi: 10.7763/IJESD.2015.V6.624.
9. Malaver, A., Motta, N., Corke, P. and Gonzalez, F. (2015), «Development and integration of a solar powered unmanned aerial vehicle and a wireless sensor network to monitor greenhouse gases», *Sensors*, No. 15, pp. 4072–4096, [Online], available at: <https://cutt.ly/LMtRwO9>, doi: 10.3390/s150204072.
10. Koval, A. and Irigoyen, E. (2017), «Mobile wireless system for outdoor air quality monitoring», *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Vol. 251, pp. 139–145, [Online], available at: <http://www.scientific.net/SSP.251.139>
11. Koval, A., Irigoyen, E. and Koval, T. (2017), «AR.Drone as a platform for measurements», *Proceedings of IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, Vol. 251, pp. 1–6, [Online], available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7939812>
12. Koval, A., Koziar, Y. and Levchuk, V. (2019), «Quadrotor Design for Outdoor Air Quality Monitoring» *Proceedings of IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, pp. 736–739, [Online], available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8783909>
13. Tkachuk, A.G., Koval, A.V., Gumenjuk, A.A. and Bogdanovs'kyj, M.V. (2021), *Avtomatyzovana sistema monitoryngu najavnosti shkidlyvyh ta vybuhonebezpechnyh gaziv na osnovi mini bezpilotnyh lital'nyh aparativ, monografija, Derzhavnyj universytet «Zhytomyrs'ka politehnika», Zhytomyr, 145 p.*

**Ткачук Андрій Геннадійович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0003-2466-6299>.

Наукові інтереси:

- автоматизовані інформаційно-вимірювальні системи;
- мобільні роботизовані платформи;
- системи стабілізації озброєння.

**Безвесільна Олена Миколаївна** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

<https://orcid.org/0000-0002-6951-1242>.

Наукові інтереси:

- фундаментальні і прикладні питання механіки гіроскопічних та навігаційних приладів рухомих об'єктів;
- розробка методів і комп'ютерних технологій обробки вимірювальної інформації навігаційного комплексу;
- створення нового автоматизованого прецизійного кутомірного засобу для попередньої виставки навігаційних елементів;
- стабілізатори озброєння легкої броньованої техніки.

**Добржанський Олександр Олексійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-4330-0287>.

Наукові інтереси:

- автоматизоване управління виробничими процесами;
- гіроскопічні гравіметри;
- розробка програмного забезпечення для промислових та бізнес-процесів (C, C++, C#, VBA, JS/HTML/CSS, Python, Lua);
- програмування PLC та SCADA (LD, FBD, SFC, IL, ST);
- 3D-моделювання в технологіях Unity, VR;
- дистанційно керовані мобільні платформи.

**Гумениук** Анна Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-5744-4599>.

Наукові інтереси:

- автоматизовані вимірювальні системи;
- гравіметрія;
- автоматизація проектування гнучких виробничих систем.

**Янчук** Валентин Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ім. проф. Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-6715-4667>.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання технологічних процесів;
- розробка програмного забезпечення;
- підтримка систем електронної комерції.

**Tkachuk A.H., Bezvesilna O.M., Dobrzhanskyi O.O., Humeniuk A.A., Yanchuk V.M.**

**Setting up the flight controller and stabilization system of an unmanned aerial vehicle with a system for monitoring the presence of fires and thermal energy leaks on board**

The article discusses a new mobile automated system for monitoring the presence of fires and thermal energy leaks based on an unmanned aerial vehicle. The designed construction of an unmanned aerial vehicle, its 3D model for printing individual parts and collecting a laboratory experimental sample are presented. The flight controller of the unmanned aerial vehicle, namely the Pixhawk, and the flight stabilization system have been configured. The procedure for configuring the controller using the Mission Planner software is described in detail and step by step. Attention was paid to the adjustment of the sensors of the flight controller and the calibration of the compass. It is shown how to program the speed controllers. Controllers are multi-level, meaning that a higher-level controller communicates its results to a lower-level controller. It has been established that the lowest level UAV controller is the speed controller, followed by the attitude controller. The adjustment of the PID regulator is carried out, which is conducted in the prescribed order, starting with the speed regulator. There is also a description of setting up the control panel of an unmanned aerial vehicle.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle; monitoring; controller; stabilization; compass.

Стаття надійшла до редакції 25.07.2022.