

ВИСНОВОК
Національного університету «Чернігівська політехніка»
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
Лося Андрія Миколайовича на тему: «Автономні системи
електроживлення комплексів безперервного спостереження на базі
безпілотних літальних апаратів» поданої на здобуття ступеня доктора
філософії з галузі знань 14 Електрична інженерія
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

1. Актуальність теми дослідження та її зв'язок з науково-дослідними роботами

Сучасний розвиток технологій стимулює постійне вдосконалення систем автоматизації та безпілотних рішень, які відіграють важливу роль у забезпеченні ефективного збору даних, спостереження й управління у різних галузях. Системи на основі безпілотних літальних апаратів (дронів) є одним із нових напрямів цього розвитку завдяки їхній мобільності, гнучкості та здатності виконувати завдання у важкодоступних або небезпечних для людини умовах.

Одним із перспективних способів використання систем на базі дронів є застосування їх груп, що працюють у координації між собою для виконання завдань моніторингу та спостереження. Груповою роботою дронів дозволяє масштабувати зони інтересу шляхом розподілу завдань та синхронізації роботи окремих елементів системи. Застосування мультикоптерних дронів, рушії яких приводяться в дію електричними двигунами з живленням від акумуляторних батарей, дозволяє застосовувати такі дрони у складі автономних (без участі людини) систем, у яких дрони виконують поставлені задачі, підзаряджаючись в автоматичному режимі на базовій станції комплексу спостереження. Однак одним з викликів ефективній роботі таких систем постає забезпечення тривалої експлуатації при обмежених енергетичних ресурсах. Зважаючи на це, комплексна оцінка та оптимізація енергоспоживання таких систем є актуальним науковим завданням.

Основна проблематика полягає у необхідності врахування впливу на енергетичні показники системи електроживлення як дрону, так і наземної базової станції значної кількості факторів, що включають параметри польоту дронів та відстань до точок спостереження, характеристики акумуляторних батарей, зовнішні умови та загальну взаємодію між компонентами системи. Для вирішення цих завдань необхідне застосування наукових методів, таких як системний аналіз, математичне моделювання, експериментальні дослідження, які дозволять розробити нові методи, методики та моделі, та за результатами їх застосування, оптимізувати системи електроживлення, які забезпечуватимуть безперервний режим роботи комплексів спостереження на базі дронів в умовах обмежених енергетичних ресурсів.

2. Мета і задачі дослідження

Метою роботи є підвищення енергетичної ефективності автономних систем електроживлення комплексів безперервного спостереження на базі безпілотних літальних апаратів та їх складових.

Для досягнення мети поставлено наступні завдання:

- Аналіз чинників споживання електричної енергії складовими безпілотного електричного літального апарату в різних режимах польоту та розробка відповідних математичних моделей.
- Синтез концептуальної моделі електрозабезпечення комплексу безперервного спостереження на основі безпілотних літальних апаратів.
- Синтез методики вибору технології акумуляторних батарей для використання у наземній частині комплексу безперервного спостереження.
- Розробка вдосконаленої математичної моделі акумуляторної батареї безпілотного

літального апарату, яка враховуватиме вплив зміни параметрів навколишнього середовища під час польоту.

- Синтез методики оцінки енергетичних показників окремої секції комплексу спостереження та розробка відповідних математичних моделей, їх застосування задля визначення оптимальної кількості безпілотних літальних апаратів, здатних забезпечувати безперервне спостереження.

- Синтез методики визначення енергетичних показників автономної системи електроживлення комплексу безперервного спостереження на базі мультикоптерних дронів з урахуванням параметрів зони спостереження.

- Проведення експериментальних досліджень для перевірки отриманих аналітичних результатів.

3. Наукові положення, розроблені особисто здобувачем, та їх новизна.

В дисертаційній роботі вирішене актуальне наукове завдання забезпечення енергетичної автономності систем електроживлення комплексів безперервного спостереження на базі безпілотних літальних апаратів шляхом розвитку методів аналізу та розробки математичних моделей як окремих складових, так і системи електроживлення такого комплексу в цілому. На відміну від існуючих, запропоновані моделі та методи враховують особливості комплексів безперервного спостереження на базі безпілотних літальних апаратів, та обмеження, які накладаються параметрами зони спостереження та вимогою забезпечення безперервного спостереження. Запропоновані моделі були перевірені шляхом проведення натурних експериментів з безпілотним літальним апаратом, що дозволило якісно підтвердити отримані теоретичні результати, та уточнити кількісно вплив неврахованих у теоретичних моделях зовнішніх стохастичних параметрів.

Основні положення дослідження, розроблені здобувачем, які становлять його наукову новизну, полягають у наступному:

Вперше:

- розроблено концептуальну модель автономної системи електроживлення комплексу безперервного спостереження на базі дронів, для якої запропоновано діаграму станів та переходів між ними, які описують взаємодію між всіма елементами системи.

- розроблено математичні моделі та методику оцінки енергоспоживання окремої секції системи спостереження, яка дозволяє врахувати енергетичні обмеження, параметри зони спостереження, та визначити оптимальну кількість дронів, необхідних для забезпечення безперервного спостереження.

Удосконалено:

- методику вибору технології акумуляторних батарей на основі комплексного критерію оптимальності, яка на відміну від існуючих є двоетапною та враховує експлуатаційні, технічні та економічні вимоги.

- математичну модель ємності акумуляторних батарей, яка на відміну від існуючих враховує зміну температури та атмосферного тиску на основі технічних даних отриманих від підприємства-виробника.

- методику визначення енергетичних показників системи електроживлення комплексу безперервного спостереження на базі мультикоптерних дронів, яка на відміну від існуючих враховує обмеження, що накладаються параметрами зони та безперервністю процесу спостереження.

Основні результати дисертаційної роботи, що характеризують новизну дослідження, полягають у наступному:

1. Було запропоновано нову концептуальну модель системи електрозабезпечення комплексів спостереження на основі безпілотних літальних апаратів, її діаграму станів та переходів між ними, які описують взаємодію між всіма елементами системи. Її використання дозволило розробити моделі електроспоживання окремих складових системи та врахувати наявні енергетичні обмеження.

2. Було проаналізовано систему накопичення електроенергії у складі наземної (стаціонарної) складової комплексу спостереження. Запропоновано вдосконалену методику вибору технології акумуляторних батарей для наземної частини на основі комплексного критерію оптимальності, яка на відміну від існуючих є двоетапною та враховує експлуатаційні, технічні та економічні вимоги. З використанням даної методики встановлено, що акумулятори на основі літєво-нікелево-марганцево-оксидної та літєво-нікелево-кобальтово-алюмінієво-оксидної технологій є найкращими для застосування у якості накопичувачів електричної енергії у складі наземної складової системи електроживлення.

3. Було проаналізовано систему накопичення електроенергії у складі мобільної складової (дрони) комплексів спостереження. Запропоновано вдосконалену математичну модель ємності акумуляторної батареї, яка на відміну від існуючих враховує зміну температури та атмосферного тиску на основі технічних даних отриманих від підприємства-виробника, що дозволяє врахувати зміну ємності акумуляторної батареї безпілотного літального апарату під час польоту. З використанням запропонованої моделі встановлено, що врахування даних факторів призводить до зменшення до 5 хвилин тривалості польоту дрона, що складає до 25 % від номінальної тривалості польоту.

4. Було проаналізовано режими роботи та енергетичні показники окремої секції комплексу безперервного спостереження, яка забезпечує моніторинг певної зони відповідальності. Розроблено математичні моделі та методику оцінки енергоспоживання окремої секції системи спостереження, яка дозволяє врахувати енергетичні обмеження, параметри зони спостереження, та визначити оптимальну кількість дронів, необхідних для забезпечення безперервного спостереження. З використанням даних моделей та методики було оцінено енергетичний баланс окремої секції, та встановлено максимальну відстань до точки спостереження за умови використання дрона DJI Mavic 3, яка склала 7346 метрів. Встановлено, що з урахуванням енергетичних обмежень для виконання завдання на відстані до 3084 метрів достатньо трьох дронів, а збільшення кількості дронів до шести дозволяє розширити максимальну відстань до точки спостереження до 6138 метрів. Водночас подальше збільшення кількості дронів більше ніж 6 не є доцільним через те, що відношення збільшення максимально досяжної відстані спостереження стає меншим за збільшення кількості дронів.

5. Для запропонованої нової концептуальної моделі системи електрозабезпечення комплексів спостереження на основі безпілотних літальних апаратів було запропоновано методику визначення її енергетичних показників, яка на відміну від існуючих враховує обмеження, що накладаються параметрами зони спостереження та безперервністю процесу спостереження. Використання запропонованої методики дозволило визначити параметри системи накопичення енергії, а також номінальну потужність фотоелектричних перетворювачів, які забезпечуватимуть автономну роботу та безперервне спостереження по всьому периметру зони. Було встановлено, що:

- номінальна потужність всіх зарядних станцій для однієї секції комплексу спостереження складає від 454 до 1724 Вт для відстані від зарядної станції комплексу до точки спостереження від 1000 м до 7100 м;

- мінімальна ємність акумуляторних батарей наземної частини комплексу спостереження, яка забезпечуватиме автономну роботу комплексу протягом 24 годин, складатиме від 746 до 18970 А·год;

- мінімально необхідна кількість фотоелектричних панелей потужністю 250 Вт складатиме від 75 до 1906, для розташування комплексу у Київській області з периметром спостереження від 5 до 41 км, відповідно.

4. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків рекомендацій

Зміст дисертаційної роботи побудовано на відповідному первинному матеріалі, аналіз та узагальнення якого дозволили сформулювати основні наукові положення, висновки та рекомендації.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується глибоким аналізом наукових досягнень українських та зарубіжних науковців у відповідній сфері, нормативно-правових актів, аналітичних матеріалів міжнародних організацій, інформаційних ресурсів мережі Internet, що дозволило компетентно виконати завдання, поставлені у дослідженні.

Основні положення, висновки та практичні рекомендації базуються на матеріалах власних досліджень автора, логічно випливають із матеріалів дисертації та є науково обґрунтованими і чітко сформульованими.

Для досягнення поставлених в дисертаційному дослідженні завдань було використано як загально наукові, так і спеціальні методи, а саме: регресійний аналіз, метод енергетичного балансу, методи математичного та комп'ютерного моделювання, експертних оцінок. Зокрема, метод експертних оцінок використовувався для визначення вагових коефіцієнтів складників при побудові індексу технології акумуляторної батареї як частини запропонованої методики вибору. Регресійний аналіз разом з натурними експериментами було застосовано для врахування випадкових чинників, таких як швидкість та напрям вітру, які впливали на струм споживання дрона під час польоту.

5. Теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження.

Науково-практичні розробки та рекомендації автора було впроваджено у практичну діяльність:

- у ТОВ "РЕАКТИВНІ ДРОНИ" шляхом адаптації розробленої методики оцінки енергоспоживання до реальних умов експлуатації, що дозволило оптимізувати енергопостачання та забезпечити стабільну роботу систем без участі персоналу. (акт про впровадження ТОВ "РЕАКТИВНІ ДРОНИ");
- у ТОВ "ААА ІНТЕЛЕДЖЕНС" шляхом реалізації інженерних рішень, що підвищили стабільність, ефективність та енергонезалежність автономної системи (акт про впровадження №001-080425 від 08.04.2025).

6. Апробація результатів дослідження.

Основні положення, результати та висновки дисертації доповідались на 6 наукових конференціях зокрема:

- Всеукраїнська науково-практична конференція «Проблеми оперативного та логістичного забезпечення складових сектору безпеки і оборони України», 09.02.2021, «Проблеми, пов'язані із застосуванням дистанційної передачі енергії для БпЛА».
- Науково-технічна конференція Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, 28.09.2023, «Методика оцінки системи електроспоживання БпЛА мультироторного типу безперервного моніторингу».
- Науково-практична конференція в Академії СБУ, 16.10.2023, «Напрямки фізичного захисту об'єктів критичної інфраструктури».
- Міжнародна науково-практична конференція «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та шляхи вирішення в умовах воєнного стану», 20.10.2023, «Використання сонячних панелей в системах безперервного моніторингу за допомогою БпЛА».
- Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні питання забезпечення службово-бойової діяльності військових формувань та правоохоронних органів», 27.10.2023, «Визначення периметру спостереження для систем безперервного моніторингу з використанням БпЛА».
- Міжнародна науково-практична конференція 2023 IEEE 17th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG),

14.06.2023, "Persistent Continuous Surveillance of Remote Local Objects by Multirotor UAVs".

7. Повнота викладення основних наукових результатів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора.

Аналіз кількості наукових публікацій, повноти опублікування результатів дисертації та особистого внеску здобувача до всіх наукових публікацій, опублікованих самостійно й у співавторстві та зараховані за темою дисертації, засвідчив, що результати дослідження, викладені у дисертаційній роботі, отримані автором самостійно та повною мірою відображені в публікаціях, доповідалися та обговорювалися на науково-практичних конференціях.

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані здобувачем самостійно та в співавторстві в 6 наукових працях, серед яких 5 статей у наукових періодичних фахових виданнях України категорії «Б» та 1 закордонна публікація, яка включена до міжнародної наукометричної бази Scopus:

1. *Лось А., Рудніченко С., Соболев В., Велігорський О.* Огляд основних параметрів системи електроспоживання сучасних безпілотних літальних апаратів вертикального зльоту та посадки стаття Технічні науки та технології, 2021, №1 (23), 239–248. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-1\(23\)-239-248](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-1(23)-239-248). (Особистий внесок – кількісно визначено розподіл електроспоживання між основними складовими елементами дрона).

2. *Veligorskyi, O., Los, A., Chakirov, R.* Persistent Continuous Surveillance of Remote Local Objects by Multirotor UAVs Конф. CPE-POWERENG 2023 - 17th IEEE International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering, 2023, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CPE-POWERENG58103.2023.10227404>. (Особистий внесок – виконано розрахунки та аналіз отриманих результатів).

3. *А. Лось, О. Велігорський, А. Роженков, Є. Хоменко* Оцінка впливу зміни температури зовнішнього середовища на розряд акумуляторної батареї БПЛА Стаття Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, 2023, 17(3), 31-36. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.17.2023.04>. (Особистий внесок – розроблено математичну модель прогнозування впливу температури та атмосферного тиску на енергоспоживання дронів).

4. *А. Лось, О. Велігорський* Методика вибору технології акумуляторних батарей для автономних систем спостереження на базі безпілотних літальних апаратів Стаття Технічні науки та технології, 2024, №2 (36), 227-241. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-2\(36\)-227-241](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-2(36)-227-241). (Особистий внесок – вперше розроблено універсальну методику вибору акумуляторних батарей для дронів на основі багатокритеріального аналізу. Розроблено узагальнену концепцію автономної системи безперервного спостереження за допомогою дронів).

5. *А. Лось, О. Велігорський* Оцінка комбінованого електроживлення систем безперервного спостереження на базі дронів Стаття Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2024, №4, 37–46. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-175-4-37-46>. (Особистий внесок – вперше створено модель електрозабезпечення для системи безперервного спостереження з оптимізацією основної та допоміжної систем енергоживлення на основі моделювання часових, енергетичних і просторових характеристик).

6. *А. Лось, О. Велігорський* Energy and operational analysis of continuous surveillance systems based on multirotor UAVs Стаття Вісник ХПІ, 2024, №3 (21), 39–51. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2024.03.06>. (Особистий внесок – вперше розроблено метод оцінки, який на відміну від існуючих враховує модель замкнутого контуру спостереження, та дозволяє визначити мінімально необхідну кількість дронів та максимально досягну дальність спостереження. Запропонований метод оцінки

вдосконалено на основі експериментальних даних).

8. Загальний висновок.

Дисертаційна робота Лося Андрія Миколайовича на тему «Автономні системи електроживлення комплексів безперервного спостереження на базі безпілотних літальних апаратів» є оригінальним, самостійним та завершеним науковим дослідженням, що стосується актуальної проблематики і містить оригінальні підходи до розв'язання теоретичних та практичних завдань з підвищення енергетичної ефективності автономних систем електроживлення комплексів безперервного спостереження на базі безпілотних літальних апаратів та їх складових.

Основні положення, висновки та рекомендації дисертації містять елементи наукової новизни, є повністю обґрунтовані та аргументовані, й отримали необхідну апробацію на науково-практичних конференціях. У публікаціях здобувача знайшли відображення всі положення та висновки дисертаційного дослідження. Зміст дисертації відповідає визначеній меті, поставлені здобувачем наукові завдання вирішені повною мірою, мету дослідження досягнуто. Роботу виконано державною мовою.

За актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Лося Андрія Миколайовича відповідає спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка та вимогам «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах)», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 19 травня 2023 р. № 502), наукові публікації здобувача відповідають пункту 8 постанови Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

Дисертація Лося Андрія Миколайовича на тему «Автономні системи електроживлення комплексів безперервного спостереження на базі безпілотних літальних апаратів» може бути рекомендована до захисту у спеціалізованій вченій раді.

Головуючий

21.04.2025

Р.О. Буйний



Підпис Р.О. Буйного
засвідчую

Відділу кадрів

« 21 » 04 2025 р.