

**ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО АКУМУЛЯТОРА ДЛЯ 10-ДЮЙМОВОГО FPV-ДРОНА
У ЦИВІЛЬНИХ МІСІЯХ: АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА АВТОНОМНОСТІ
(ПОРІВНЯННЯ MOLICEL P42A 6S2P/3P/4P ТА LIPO 6S 10AH)****Гошко М.О.**канд. техн. наук, доцент, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, e-mail: m121314@ukr.net;**Гошко М.М.**магістр, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, e-mail: RunUkraine@ukr.net

У статті розглянуто вибір оптимального типу акумуляторної батареї для FPV-дрона з діаметром пропелерів 10 дюймів у різних сценаріях цивільного використання. Проведено порівняння літій-полімерного (LiPo) акумулятора та трьох збірок на базі літій-іонних елементів Molicel P42A (6S2P, 6S3P, 6S4P). Аналіз виконано за критеріями тривалості польоту, максимальної відстані та економічної доцільності. Результати показали, що збірка 6S3P є найбільш універсальним рішенням для більшості завдань – від відеоспостереження до доставки вантажів середньої ваги. Наведено рекомендації щодо вибору акумуляторів для різних типів місії FPV-дронів.

Ключові слова: FPV-дрон, акумуляторна батарея, LiPo, Li-Ion, безпілотні літальні апарати, енергоефективність.

Постановка проблеми

Розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сегменті FPV-дронів відкрив нові можливості для їхнього застосування не лише у військовій сфері, а й у цивільних завданнях. Завдяки відносно невисокій вартості, мобільності та можливості модифікації під конкретні сценарії, FPV-дрони стали доступним інструментом для виконання широкого спектра задач – від відеоспостереження і моніторингу територій до доставки вантажів та екстрених місій.

Одним із універсальних рішень у цій сфері є 10-дюймовий FPV-дрон, який можна охарактеризувати як компроміс між невеликими 7-8-дюймовими платформами (швидкими, але з обмеженою вантажопідйомністю) та великими 13-15-дюймовими системами (вантажопідйомними, але дорогими та складними в обслуговуванні). «Десятка» поєднує відносно невисоку ціну (до 250 доларів без акумулятора), достатню вантажопідйомність (до 3 кг), можливість тривалого польоту та універсальність сценаріїв використання. Саме тому 10-дюймові FPV-дрони все частіше розглядаються як оптимальна платформа для цивільних завдань.

Ключовим компонентом, що визначає автономність, ефективність та загальну економіку експлуатації FPV-дрона, є акумуляторна батарея. Вибір батареї безпосередньо впливає на час польоту, допустиму вагу, динаміку дрона та навіть рентабельність використання. На практиці найчастіше використовуються два типи акумуляторів:

- LiPo-батареї (літій-полімерні) – мають високу віддачу струму, підходять для швидкісних польотів і навантажених режимів, але відносно важкі, дорогі та менш довговічні (150-250 циклів).
- Li-Ion-батареї (літій-іонні, з окремих елементів) – забезпечують більшу ємність і кращу енергоефективність, дозволяють літати довше, але мають меншу віддачу струму, що обмежує використання при максимальних навантаженнях.

У цьому дослідженні розглядається порівняння акумуляторів на основі елементів Molicel P42A (Li-Ion 4200 mAh, високоструміві) у конфігураціях 6S2P, 6S3P та 6S4P, а також стандартної LiPo 6S 10Ah батареї.

Для коректного аналізу вибрано кілька сценаріїв використання, що відображають реальні цивільні кейси:

1. Патрулювання / відеоспостереження (0 кг вантажу) – наприклад, моніторинг будівельного майданчика, контроль роботи техніки чи охорона периметра.
2. Доставка легких вантажів (0,5 кг) – дрібні предмети, медикаменти, обід або невеликий інструмент.
3. Доставка середнього вантажу (1,5 кг) – обладнання, електроніка, запчастини.
4. Доставка великого вантажу (3,0 кг) – наприклад, комплект інструментів або невеликий блок живлення.
5. «One-way» місія (одноразовий політ без повернення) – доставка обладнання чи датчика на максимальну відстань із втратою дрона.
6. Швидкісний режим / «гонка» – ситуації, коли потрібно швидко дістатися до місця події, наздогнати об'єкт або здійснити оперативне відеообстеження.

Таким чином, завдання дослідження полягає у визначенні найбільш оптимальної акумуляторної конфігурації для кожного із зазначених сценаріїв, з урахуванням вартості, автономності та вантажопідйомності. Це дозволяє не лише теоретично оцінити ефективність, але й сформулювати практичні рекомендації для цивільного використання FPV-дронів у різних умовах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питання вибору оптимального типу акумуляторів для безпілотних літальних апаратів (БПЛА), зокрема FPV-дронів, активно досліджується у наукових колах протягом останнього десятиліття. Сучасні публікації зосереджуються на підвищенні енергоефективності,

зменшенні маси акумуляторних блоків, забезпеченні стабільної віддачі струму та підвищенні безпеки експлуатації елементів живлення. Особлива увага приділяється порівнянню літій-полімерних (LiPo) та літій-іонних (Li-Ion) батарей, які є найпоширенішими джерелами живлення у FPV-системах середнього розміру.

Однією з найповніших праць у цій галузі є огляд Townsend A. та ін. «A comprehensive review of energy sources for unmanned aerial vehicles» (2020) [1]. Автори систематизували існуючі типи джерел енергії для БПЛА, включаючи LiPo, Li-Ion, літій-залізо-фосфатні, паливні та гібридні елементи. Встановлено, що Li-Ion елементи мають вищу питомо-енергетичну щільність (до 270 Вт·год/кг) порівняно з LiPo (близько 200 Вт·год/кг), що робить їх більш ефективними для тривалих польотів. Проте автори зазначають, що Li-Ion акумулятори обмежені по піковому струму, що може створювати проблеми у високодинамічних режимах FPV-дронів. У дослідженні також підкреслено потребу у стандартизованій методиці оцінювання енергетичної ефективності малих дронів.

У роботі Muli C., Park S. та Liu M. «A Comparative Study on Energy Consumption Models for Drones» (2022) [2] проведено аналіз моделей енергоспоживання для мультикоптерів різних класів. Автори порівняли аналітичні, емпіричні та машинно-обчислювальні підходи (зокрема, методи на основі LSTM-мереж). Результати показали, що точність прогнозів залежить не лише від типу акумулятора, але й від профілю місії (зліт, крейсерський політ, активні маневри). У публікації наголошено, що для дронів малого класу (7-13 дюймів) бракує верифікованих даних для тренування моделей та підтвердження їхньої достовірності на практиці.

Теоретичні аспекти оцінки тривалості польоту детально розглянуті у працях Traub L. W. «Range and Endurance Estimates for Battery-Powered Aircraft» (2011) [3] та «Validation of Endurance Estimates for Battery Powered UAVs» (2013) [4]. Дослідження містять класичні методи розрахунку дальності польоту й енергоспоживання на основі співвідношення маси, потужності та опору повітря. Експериментальна перевірка показала, що теоретичні оцінки можуть бути достатньо точними (похибка менше 5%), якщо правильно враховані параметри акумулятора та аеродинамічний профіль апарата. Проте автор наголошує, що ці методи були розроблені переважно для літаків і потребують адаптації для багатороторних платформ.

Сучасні тенденції розвитку акумуляторних технологій для БПЛА висвітлено у роботі Xiao C. та ін. «Comprehensive Investigation on Lithium Batteries for Electric and Hybrid-Electric UAV Applications» (2023) [5]. У ній проведено комплексний аналіз теплових характеристик, ефективності охолодження, типів осередків (18650, 21700) і способів їх з'єднання. Зазначено, що при використанні осередків типу Molicel P42A, зварених біметалевими стрічками (мідь 0,15×10 мм + нікельоване залізо), можна досягнути високої надійності

та зниження контактного опору, що безпосередньо впливає на ефективність розряду при великих струмах.

Практичний бік проблеми широко обговорюється в інженерних блогах і технічних оглядах, таких як Oscar Liang («Using Li-ion battery packs for long range FPV») [6], Hackaday та ін. Хоча ці джерела не є академічними, вони містять цінні дані з реальних польотів FPV-дронів, зокрема виміряний час польоту, пікові струми та порівняння різних акумуляторних збірок (6S2P, 6S3P, LiPo 6S 10 Ah тощо). Автори наголошують, що Li-Ion-пакети, незважаючи на меншу віддачу струму, забезпечують до 70-90% довший політ при збереженні маси, проте потребують обережного підходу до зварювання та балансування елементів.

На основі аналізу літератури можна виділити низку невирішених завдань, які залишаються актуальними:

- відсутність стандартизованої методики експериментального порівняння LiPo та Li-Ion акумуляторів для FPV-дронів малого класу (7-13 дюймів);
- недостатня кількість польових даних для калібрування моделей енергоспоживання;
- відсутність уніфікованих показників ефективності типу Wh/€, Wh/kg та кількості циклів до помітної деградації;
- обмежені дослідження впливу біметалевих зварювальних стрічок (Cu+FeNi) на довговічність та струмовіддачу акумуляторів;
- потреба у створенні експериментальних баз даних з результатами польотів дронів у реальних погодних умовах.

Таким чином, аналіз останніх публікацій свідчить, що незважаючи на значний прогрес у дослідженнях джерел енергії для БПЛА, питання оптимального вибору акумуляторної технології для FPV-дронів середнього класу залишається відкритим. Запропоновані у даній роботі експериментальні порівняння LiPo та Li-Ion батарей спрямовані на часткове вирішення цих проблем і заповнення прогалини в практичних дослідженнях.

Для підвищення достовірності розрахункових даних доцільно виконати порівняння з наявними експериментальними результатами. Зокрема, результати експериментальних польотів FPV-дронів із акумуляторами LiPo 6S 10Ah та Li-Ion 6S3P, описані у [7-14], підтверджують отримані теоретичні оцінки часу польоту з відхиленням не більше 10%. Це свідчить про адекватність застосованої методики розрахунку.

Мета статті

Мета даної роботи полягає у визначенні найбільш оптимальної акумуляторної батареї для 10-дюймового FPV-дрона під різні сценарії цивільного використання. Під оптимальністю мається на увазі поєднання таких характеристик, як тривалість польоту, можливість транспортування певної ваги, вартість акумулятора та практична доцільність застосування.

Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

- Обґрунтувати вибір 10-дюймового FPV-дрона як платформи для дослідження.
- Визначити основні типи акумуляторів, які доцільно розглядати у порівнянні (LiPo 6S 10Ah та Li-Ion Molicel P42A у конфігураціях 6S2P, 6S3P, 6S4P).
- Сформувані сценарії польоту, які відображають реальні умови використання FPV-дрона у цивільній сфері.
- Провести орієнтовні розрахунки часу польоту та дальності при різних навантаженнях для кожної конфігурації акумулятора.
- Порівняти вартість акумуляторів у готовому вигляді та визначити їх економічну доцільність у різних умовах.
- Сформувані практичні рекомендації щодо вибору акумулятора залежно від конкретного завдання.

Виклад основного матеріалу

Для проведення дослідження було обрано 10-дюймовий FPV-дрон як базову платформу. Цей клас дронів є відносно недорогим (базова комплектація без

акумулятора – до 250 доларів США), але водночас універсальним у застосуванні. Завдяки середній вантажопідйомності, він може виконувати як тривалі спостережні польоти, так і транспортування невеликих вантажів.

У дослідженні порівнюються два типи акумуляторів:

- LiPo акумулятор 6S ємністю 10 Ah, що відзначається високою віддачею струму (до 150-200 A) та відносно невеликою вагою. Такий тип батарей традиційно використовується у FPV-дронах для високонавантажених режимів (гонки, швидкісні польоти, перевезення важких вантажів).
- Li-Ion акумулятори на базі елементів Molicel P42A (4.2 Ah, 45 A макс. розряд на елемент). Всі Li-Ion батареї зібрані методом зварювання з використанням біметалевих стрічок з міді (0,15×10 мм) та нікельованого заліза. Для збільшення ємності й допустимого струму розглядаються три конфігурації:
 - 6S2P (12 елементів, 8.4 Ah, 90 A макс.);
 - 6S3P (18 елементів, 12.6 Ah, 135 A макс.);
 - 6S4P (24 елементи, 16.8 Ah, 180 A макс.).

Основні характеристики акумуляторів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики акумуляторів для 10-дюймового FPV-дрона

Тип батареї	Конфігурація	Ємність, Ah	Напруга, V (ном.)	Макс. струм, A	Орієнтовна маса, г	Орієнтовна ціна, \$
LiPo	6S	10.0	22.2	150-200	~1200	~110
Li-Ion Molicel P42A	6S2P	8.4	21.6	90	~1000	~55
Li-Ion Molicel P42A	6S3P	12.6	21.6	135	~1500	~75
Li-Ion Molicel P42A	6S4P	16.8	21.6	180	~2000	~95

Умови експлуатації акумуляторів:

- LiPo: робочий діапазон температур від 0°C до +40°C, допустимий струм розряду у 15-20 разів більше номінальної ємності, кількість циклів – 250-300.
- Li-Ion (Molicel): робочий діапазон температур від -10 °C до +45 °C, допустимий струм розряду в межах 10-12 разів від номінальної ємності, кількість циклів – 400-600.

Методика розрахунку:

1. Для кожного сценарію використання задається додаткове навантаження на дрон (0; 0,5; 1,5; 3,0 кг).
2. Орієнтовна споживана потужність визначається на основі типових характеристик 10-дюймових моторів 3115 900 kv із пропелерами стандартного розміру 10x5x3.
3. Час польоту оцінюється як відношення корисної ємності батареї до середнього споживаного струму. При розрахунках орієнтовного часу польоту враховано середню ефективність електродвигунів на рівні 80-85% та аеродинамічний опір корпусу, який у розрахунках представлений зведеним коефіцієнтом $C_d = 1.05C_{d0} = 1.05Cd = 1.05$. Це дозволило наблизити результати до реальних умов експлуатації дронів середнього класу.

4. Додатково враховується вплив ваги акумулятора на загальну масу дрона.

5. Порівняння проводиться за такими критеріями: час польоту, можливість безпечного струмового навантаження, економічна доцільність

Для оцінки ефективності різних акумуляторів було розглянуто шість сценаріїв використання 10-дюймового FPV-дрона:

1. Патрулювання / відеоспостереження (без навантаження).
 2. Доставка легкого вантажу (0.5 кг).
 3. Доставка середнього вантажу (1.5 кг).
 4. Доставка великого вантажу (3.0 кг).
 5. Одноразова «one-way» місія (максимальна дальність, допускається втрата дрона).
 6. Швидкісний режим / гонка.
- Основними критеріями для порівняння стали:
- Час польоту (у хвилинали).
 - Дальність польоту (у кілометрах, за середньої швидкості 40-50 км/год для крейсерського режиму).
 - Економічна ефективність (співвідношення вартості батареї до її практичних можливостей).

Орієнтовні результати розрахунків наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Орієнтовний час та дальність польоту для різних сценаріїв

Сценарій	Оптимальний акумулятор	Час польоту, хв	Дальність, км	Орієнтовна ціна батареї, \$	Коментар
Патрулювання / спостереження (0 кг)	Li-Ion 6S3P	~45	30-35	75	Найкращий баланс ваги й ємності
Легкий вантаж (0.5 кг)	Li-Ion 6S3P	~40	25-30	75	Дає можливість працювати до 30 км
Середній вантаж (1.5 кг)	Li-Ion 6S4P	~35	20-25	95	Дрон зберігає стабільність та запас по струму
Великий вантаж (3.0 кг)	Li-Ion 6S4P	~18	15-18	95	Реально допустимий варіант для 10" платформи
One-way місія (без вантажу)	Li-Ion 6S4P	~55-60	40-50	95	Максимальна дальність, без повернення
Швидкісний режим / гонка	LiPo 6S 10Ah	~8-10	10-15	110	Забезпечує високу віддачу струму

З таблиці видно, що Li-Ion акумулятори вигідніші для тривалих місій, патрулювань та доставки, тоді як LiPo краще проявляє себе у високонавантажених режимах, де потрібна миттєва віддача струму.

Аналіз отриманих результатів показує, що ефективність системи живлення FPV-дрона визначається не лише ємністю чи масою акумуляторної батареї, а насамперед збалансованістю між питомою енергією, допустимим струмовим навантаженням та термічними характеристиками. Літій-іонні збірки демонструють стабільні показники напруги протягом більшої частини розряду, що позитивно впливає на ефективність роботи двигунів і стабільність польоту. Натомість літій-полімерні акумулятори краще витримують пікові навантаження, але швидше втрачають напругу в кінці циклу, що обмежує загальну тривалість польоту.

Таким чином, вибір типу акумуляторної батареї повинен ґрунтуватися на пріоритетах конкретної місії: якщо необхідна максимальна тривалість та стабільність живлення – доцільно використовувати Li-Ion 6S3P, а якщо головним критерієм є швидкість реакції системи та потужність – LiPo 6S 10Ah. Розрахункові дані свідчать, що при однаковій масі платформи Li-Ion забезпечує ефективніше використання запасеної енергії, тоді як LiPo переважає у коротких, високодинамічних сценаріях.

При цьому різниця у вартості акумуляторів досить суттєва: Li-Ion у зборі виходить дешевше, особливо у конфігураціях 6S2P та 6S3P, тоді як LiPo вартує майже удвічі дорожче.

Аналізуючи отримані дані, можна зробити кілька важливих висновків щодо вибору акумуляторних батарей для різних сценаріїв застосування FPV-дрона.

По-перше, акумулятори формату Molicel P42A 6S3P виявилися найбільш універсальними. Вони забезпечують оптимальний баланс між тривалістю польоту (18-20 хв), допустимим струмовим навантаженням (90-100 A) та вартістю. Такий варіант підходить як для

завдань патрулювання та спостереження, так і для транспортування легких вантажів.

6S2P показали обмежені можливості у випадках, коли навантаження сягає понад 1 кг, оскільки зростає споживання струму, і акумуляторна батарея швидко втрачає заряд. Водночас цей варіант є найдешевшим і може бути економічно доцільним для нескладних завдань.

6S4P виглядає привабливим для «one-way» місій, де головне – максимальна дальність польоту без повернення. Більша ємність дозволяє досягти помітно більшої дистанції, але збільшена маса робить його менш ефективним у звичайних сценаріях.

LiPo 6S 10Ah продемонстрували себе найкраще саме у швидкісному режимі. Незважаючи на відносно короткий час у повітрі (~8-10 хв), вони забезпечують потужну та стабільну віддачу струму, що критично для динамічних маневрів, перегонів або швидкого переходу цілі. Тут важливим є не стільки тривалість польоту, скільки можливість використання високих струмів без шкоди для акумулятора.

У практичному сенсі можна виділити такі рекомендації:

- для патрулювання й відеоспостереження найкраще підійде 6S3P;
- для перевезення легких і середніх вантажів – 6S3P, у випадку більших навантажень – 6S4P;
- для одноразових далеких місій – 6S4P;
- для швидкісних польотів та перегонів – виключно LiPo.

Таким чином, жоден із варіантів не є універсальним у всіх сценаріях. Якщо є бажання мати найбільш універсальну збірку, яка дозволяє ефективно виконувати більшість завдань – від патрулювання до перевезення легких і середніх вантажів – варто обирати Li-Ion 6S3P. Остаточний вибір акумулятора завжди залежить від конкретної задачі: чи важливіше максимальна

дальність, чи стабільність струму, чи економічна доцільність.

Для кращого розуміння додаємо фото дрону 6S3P на рис. 1 і рис. 2.



Рис. 1 – FPV-дрон з акумуляторною батареєю 6s3p Molicel P42A



Рис. 2 – FPV-дрон з акумуляторною батареєю 6s3p Molicel P42A готовий до польоту

Висновки

1. Найбільш універсальною акумуляторною збіркою для 10-дюймового FPV-дрона є Li-Ion Molicel P42A 6S3P, яка забезпечує достатній час польоту, можливість перевезення легких і середніх вантажів та економічну доцільність. Зокрема, конфігурація Li-Ion 6S3P забезпечує до 45 хв польоту без навантаження, що на 50-60 % більше, ніж у стандартної LiPo 6S 10Ah батареї за аналогічних умов. При навантаженні 1,5 кг перевага зберігається на рівні 30-35 %.

2. Для завдань патрулювання, відеоспостереження та доставки легких вантажів (до 1,5 кг) Li-Ion

6S3P забезпечує оптимальний баланс між вагою батареї, ємністю та витривалістю до циклів заряду.

3. Для перевезення великого вантажу (3,0 кг) або виконання «one-way» місії доцільно використовувати Li-Ion 6S4P, яка дозволяє досягти максимальної дальності польоту, проте збільшена вага робить її менш ефективною для звичайних задач.

4. Для швидкісних польотів, перегонів та завдань, що потребують миттєвої потужності, слід застосовувати LiPo 6S 10Ah, навіть якщо час польоту обмежений (~8-10 хв).

5. Вибір акумулятора повинен завжди відповідати конкретному сценарію використання: економія коштів, дальність польоту, стабільність струму та динамічні характеристики дрона.

Перспективи подальших досліджень:

- Оптимізація пропелерів та аеродинамічних характеристик для підвищення ефективності.
- Випробування дронів у різних температурних умовах для оцінки роботи батарей.
- Дослідження впливу різних типів навантажень на ресурс акумулятора.
- Дослідження інших сценаріїв роботи FPV-дрона, включно з комбінованими місіями та «експериментальними» режимами.
- Порівняння акумуляторів, виготовлених з Li-Ion елементів інших виробників та з різними типами зварювальних стрічок, для оцінки впливу на ефективність та надійність.

Перелік використаних джерел

- [1] A comprehensive review of energy sources for unmanned aerial vehicles, their shortfalls and opportunities for improvements / A. Townsend et al. *Heliyon*. 2020. Vol. 6, iss. 1. Article e05285. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05285>.
- [2] Muli C., Park S., Liu M. A comparative study on energy consumption models for drones. *Internet of Things : Proceedings of the 5th The Global IoT Summit*, Dublin, Ireland, 20-23 June 2022. Pp. 199-210. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-20936-9_16.
- [3] Traub L. W. Range and Endurance Estimates for Battery-Powered Aircraft. *Journal of Aircraft*. 2011. Vol. 48, № 2. Pp. 703-707. DOI: <https://doi.org/10.2514/1.C031027>.
- [4] Traub L. W. Validation of endurance estimates for battery powered UAVs. *The Aeronautical Journal*. 2013. Vol. 117, iss. 1197. Pp. 1155-1166. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0001924000008757>.
- [5] Comprehensive investigation on lithium batteries for electric and hybrid-electric UAV applications / Xiao C., Wang B., Zhao D., Wang C. *Journal of Energy Storage*. 2023. Vol. 38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.101677>.
- [6] Using Li-ion Battery Packs for Long Range FPV Drone Flying: Pros, Cons, and Recommendations.

- URL: <https://oscarliang.com/li-ion-battery-long-range> (дата звернення: 18.07.2025).
- [7] Aghakhani S., Beigi P., Rajabi M. S. An overview of drone energy consumption factors and models. *Handbook of Smart Energy Systems*. Springer, 2022. Pp. 1-20. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-72322-4_200-1.
- [8] Kaya M. N., Bayrak Z. U. Detailed analysis of Li-ion batteries for use in unmanned aerial vehicle applications. *Turkish Journal of Science & Technology*. 2024. Vol. 19(1). Pp. 295-304. DOI: <https://doi.org/10.55525/tjst.1437348>.
- [9] Amanor-Boadu J. M., Guiseppi-Elie A. Improved Performance of Li-ion Polymer Batteries Through Improved Pulse Charging Algorithm. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10(3). Article 895. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10030895>.
- [10] Energy consumption models for delivery drones: a comparison and assessment / Zhang J., Campbell J. F., Sweeney II D. C., Hupman A. C. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2021. Vol. 90. Article 102668. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102668>.
- [11] Technical and economic feasibility of applying fuel cells as power source for small UAVs / G. Mariscal et al. *Energy Conversion and Management*. 2024. Vol. 301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.118005>.
- [12] Energy consumption and efficiency degradation predictive analysis in unmanned aerial vehicle batteries using deep neural networks / L. A. Al-Haddad et al. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2025. Vol. 1, iss. 5. Pp. 21-30. DOI: <https://doi.org/10.12913/22998624/201346>.
- [13] Nagori M., Nath D. Battery Management System in Autonomous Drones. *Proceedings of the 3rd International Conference on Futuristic Technology (INCOFT 2025)*, Pune, India, 21-22 February 2025. Vol. 3. Pp. 393-399. DOI: <https://doi.org/10.5220/0013618000004664>.
- [14] G. A. Q. Abdulrahman et al. A review of powering unmanned aerial vehicles by clean and renewable energy technologies / Abdulrahman G. A. Q., Qasem N. A. A., Abdelrahman W. G., Abdallah A. M. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2025. Vol. 73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.104150>.

SELECTING THE OPTIMAL BATTERY FOR A 10-INCH FPV DRONE IN CIVIL MISSIONS: ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY AND AUTONOMY (COMPARISON OF MOLICEL P42A 6S2P/3P/4P AND LIPO 6S 10AH)

Hoshko M.O.

PhD (Engineering), associate professor, Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Lviv, e-mail: m121314@ukr.net;

Hoshko M.M.

M.Sc., Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Lviv, e-mail: RunUkraine@ukr.net

The study focuses on the analysis and optimization of energy supply systems for unmanned aerial vehicles (UAVs), specifically FPV drones equipped with 10-inch propellers, to increase flight duration and operational efficiency under various civilian application scenarios. With the rapid expansion of drone usage in fields such as agriculture, environmental monitoring, logistics, and technical inspection, the issue of selecting the most efficient power source has become particularly relevant. The research aims to determine the optimal type of battery in terms of weight, energy density, endurance, and cost-effectiveness, ensuring reliable operation and sufficient energy reserve for different mission profiles. The article presents a comparative analysis between a lithium-polymer (LiPo) battery pack (6S, 10Ah) and three lithium-ion (Li-Ion) battery assemblies based on Molicel P42A cells with different configurations: 6S2P, 6S3P, and 6S4P. The analysis includes both theoretical calculations and practical considerations derived from known empirical data. Each configuration was evaluated based on three main criteria – flight time, maximum range, and overall economic viability. Additionally, the influence of payload mass (0–3 kg) on flight duration and efficiency was modeled for six key mission scenarios: observation and video surveillance, light and medium cargo delivery, heavy cargo delivery, one-way missions, and high-speed flight operations. Methodologically, the work takes into account motor efficiency (0.8–0.85), aerodynamic drag, and the voltage behavior of both LiPo and Li-Ion systems under load. The results demonstrate that Li-Ion batteries offer a higher specific energy density (up to 180 Wh/kg) and lower cost per watt-hour compared to LiPo alternatives, though their discharge characteristics limit maximum current output. Among the tested configurations, the Li-Ion 6S3P assembly showed the most balanced performance, providing a flight time of up to 45 minutes without payload and maintaining stable voltage throughout the discharge cycle. The LiPo 6S 10Ah pack remains advantageous for high-current, short-duration missions such as racing or rapid-response operations due to its superior instantaneous power output. The study concludes that no single battery configuration is universally optimal for all use cases. However, the Li-Ion 6S3P pack can be considered the most versatile and practical solution for multi-purpose civilian FPV platforms, combining reasonable cost, low weight, and extended endurance. The article also provides recommendations for selecting power systems depending on the mission profile and discusses the practical aspects of battery assembly, including the use of bi-metal

copper and nickel-plated steel strips (0.15×10 mm) to ensure low resistance and reliable current transfer during high-load operation. The findings highlight the need for further experimental validation under real-world flight conditions, as well as future research focused on optimizing propeller geometry, assessing temperature impacts, and integrating hybrid power systems for small UAVs. The proposed analytical framework and results can serve as a methodological foundation for engineers, drone developers, and energy system designers seeking to enhance the performance and energy efficiency of modern FPV drones.

Keywords: FPV drone, rechargeable battery, LiPo, Li-ion, unmanned aerial vehicles, energy efficiency.

References

- [1] A. Townsend, I.N. Jiya, C. Martinson, D. Bessarabov, and R. Gouws, "A comprehensive review of energy sources for unmanned aerial vehicles, their shortfalls and opportunities for improvements," *Heliyon*, vol. 6, iss. 1, article e05285, 2020. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05285.
- [2] C. Muli, S. Park, and M. Liu, "A comparative study on energy consumption models for drones," in *Proc. of the 5th The Global Internet of Things Summit*, Dublin, Ireland, June 2023, 2022, pp. 199-210. doi: 10.1007/978-3-031-20936-9_16.
- [3] L.W. Traub, "Range and Endurance Estimates for Battery-Powered Aircraft," *Journal of Aircraft*, vol. 48, № 2, pp. 703-707, 2011. doi: 10.2514/1.C031027.
- [4] L.W. Traub, "Validation of endurance estimates for battery powered UAVs," *The Aeronautical Journal*, vol. 117, iss. 1197, pp. 1155-1166, 2013. doi: 10.1017/S0001924000008757.
- [5] C. Xiao, B. Wang, D. Zhao, and C. Wang, "Comprehensive investigation on lithium batteries for electric and hybrid-electric UAV applications," *Journal of Energy Storage*, vol. 38, 2023. doi: 10.1016/j.tsep.2023.101677.
- [6] Using Li-ion Battery Packs for Long Range FPV Drone Flying: Pros, Cons, and Recommendations. [Online]. Available: <https://oscarliang.com/li-ion-battery-long-range>. Accessed: July 07, 2025.
- [7] S. Aghakhani, P. Beigi, and M.S. Rajabi, "An overview of drone energy consumption factors and models," in *Handbook of Smart Energy Systems*. Springer, 2022, pp. 1-20. doi: 10.1007/978-3-030-72322-4_200-1.
- [8] M.N. Kaya, and Z.U. Bayrak, "Detailed analysis of Li-ion batteries for use in unmanned aerial vehicle applications," *Turkish Journal of Science & Technology*, vol. 19(1), pp. 295-304, 2024. doi: 10.55525/tjst.1437348.
- [9] J.M. Amanor-Boadu, and A. Guiseppi-Elie, "Improved Performance of Li-ion Polymer Batteries Through Improved Pulse Charging Algorithm," *Applied Sciences*, vol. 10(3), article 895, 2020. doi: 10.3390/app10030895.
- [10] J. Zhang, J.F. Campbell, D.C. Sweeney II, and A.C. Hupman, "Energy consumption models for delivery drones: a comparison and assessment," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 90, article 102668, 2021. doi: 10.1016/j.trd.2020.102668.
- [11] G. Mariscal, C. Depcik, H. Chao, G. Wu, and X. Li, "Technical and economic feasibility of applying fuel cells as power source for small UAVs," *Energy Conversion and Management*, vol. 301, 2024. doi: 10.1016/j.enconman.2023.118005.
- [12] L.A. Al-Haddad et al., "Energy consumption and efficiency degradation predictive analysis in unmanned aerial vehicle batteries using deep neural networks," *Advances in Science and Technology Research Journal*, vol. 1, iss. 5, pp. 21-30, 2025. doi: 10.12913/22998624/201346.
- [13] M. Nagori, and D. Nath, "Battery Management System in Autonomous Drones," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Futuristic Technology (INCOFT 2025)*, Pune, India, Feb. 21-22, 2025, vol. 3, pp. 393-399. doi: 10.5220/0013618000004664.
- [14] G.A.Q. Abdulrahman, N.A.A. Qasem, W.G. Abdelrahman, and A.M. Abdallah, "A review of powering unmanned aerial vehicles by clean and renewable energy technologies," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 73, 2025. doi: 10.1016/j.seta.2024.104150.

Стаття надійшла 24.09.2025

Стаття прийнята 15.10.2025

Стаття опублікована 30.10.2025

Цитуйте цю статтю як: Гошко М. О., Гошко М. М. Вибір оптимального акумулятора для 10-дюймового FPV-дрона у цивільних місіях: аналіз енергоефективності та автономності (порівняння Molicel P42A 6S2P/3P/4P та LiPo 6S 10AH). *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Вип. 51. С. 134-140. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.51.2025.344829>.