

УДК 621.317.7

**Щербань А.П.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Ларін В.Ю.**

Національний авіаційний університет України

**Маслов В.П.**

Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова  
Національної академії наук України

**Качур Н.В.**

Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова  
Національної академії наук України

## СПОСІБ КОНТРОЛЮ ЛІТІЙ ПОЛІМЕРНОЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ БЕЗПЛОТНОГО ПОВІТРЯНОГО СУДНА

*У статті розглянуто основні класи безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та можливості їх використання. Визначені основні типи елементів живлення БПЛА. Метою роботи є забезпечення електричного живлення для безаварійного польоту БПЛА. Запропоновано спосіб неруйнівного контролю стану літєвих перезаряджуваних автономних джерел енергії (ПАДЕ) на борту БПЛА за допомогою фіксації його поточної температури. Наведені результати дослідження контролю температури реальної системи з використанням оптико-електронного тепловізора. На основі отриманих даних зроблено висновок, що температурний сигнал може бути використаний як критерій вмикання додаткової батареї або припинення польоту БПЛА.*

**Ключові слова:** перезаряджуване автономне джерело струму, літій-полімерні акумулятори, тепловізор, розрядна характеристика, безпілотне повітряне судно, температурний контроль.

**Постановка проблеми.** Одним із напрямків розвитку техніки останнім часом стало проектування і виробництво безпілотних літальних апаратів (далі – БПЛА, дронів, безпілотників). Інтенсивний розвиток інформаційних технологій у провідних країнах світу призвів до переосмислення концепцій застосування БПЛА, шляхів подальшого їх розвитку, вдосконалення корисного навантаження і надання їм багатоцільового характеру. БПЛА займають гідне місце у виробничих програмах провідних авіабудівників світу. Це обумовлено тим, що застосування БПС і у різних цивільних сферах і у військовій області економічно ефективно і часто дозволяє виконати завдання краще і швидше, ніж це було б зроблено зі застосуванням традиційної авіації, або інших способів.

Сучасний дрон це, передусім, – робочий інструмент, який допомагає досягти певних цілей. Від цього залежатиме вибір типу БПЛА відповідно до характеристик встановленого на ньому обладнання.

Всі безпілотні літальні апарати можна розділити на два основні класи: літаки і коптери (бага-

тороторні вертольоти). БПЛА, побудовані за літаковою схемою, мають велику дальність польоту, можуть значно довше перебувати у повітрі, мають меншу вартість, і простіші в обслуговуванні. Однак для управління літаковим БПЛА треба мати спеціальну підготовку (якщо це не повністю автоматичний апарат), і для зльоту і посадки – відповідний майданчик. Коптер стартує і сідає вертикально, пілотувати його простіше. Але він має обмежений радіус застосування, що залежить від часу польоту, який, у свою чергу, залежить від ємності батарей [1]. У холодну пору року ємність батарей зменшується, відповідно зменшується польотний час і дальність. Оскільки підйомна сила у коптера створюється тільки внаслідок обертання гвинтів, то вихід з ладу одного з двигунів, регуляторів, іншої електроніки може мати фатальні наслідки для апарату. Літакові БПЛА більш живучі, універсальні, насамперед через більшу дальність і довший час польоту. Водночас, коптери мають більш поширене застосування у самих різноманітних сферах – від агротехнологій до військового призначення.

Основні можливості застосування БПЛА поділяються на задачі транспортування та задачі моніторингу. Але у сучасному світі напевно немає області, де б не можна було ефективно застосувати БПС. Це і аерофотознімання, розвідка промислової риби, геологорозвідка, обліт трубопроводів з метою оперативного виявлення аварій, військова розвідка, коректування вогню артилерії і ракет, наведення на ціль бомбардувальників, виявлення човнів, що терплять лихо, виявлення на початковій стадії лісових пожеж, безцінні БПЛА при затриманні злочинців (зверху видно все) і у звичайній практиці патрульної поліції, для доставлення термінових вантажів або документів. Окрім цього є і нетрадиційні можливості застосування БПС. Наприклад, виведення на орбіту супутників (поки невеликої ваги). Насправді, БПЛА можна використовувати фактично у будь-якій сфері людської діяльності, де треба щось швидко розгледіти, проконтролювати, доставити або знищити. БПЛА вигідно відрізняються від супутників (як правило, вони у сотні і тисячі разів дешевші), а завдання спостереження можуть виконати навіть якісніше (у разі потрапляння у хмарність вони мають можливість знизитися по команді оператора і поспостерігати будь-який об'єкт з більш близької відстані).

Живлення таких апаратів можливе за допомогою різних засобів: використання двигуна внутрішнього згоряння і відповідно палива, використання електричного двигуна, який живиться від акумуляторних батарей, енергії сонця та інших засобів, які знаходяться на етапі розробки [2].

Очевидні переваги у цьому випадку має електричний двигун – це низький рівень шуму, відсутність теплового сліду, що зводить до мінімуму виявлення БПЛА та його знешкодження в умовах воєнного часу, простота обслуговування і легкість управління.

Живлення електродвигунів є найбільш поширеним та виправданим, наразі є використання перезаряджуваних автономних джерел енергії (далі – ПАДЕ) [3]. У цьому випадку є один, але серйозний недолік – низька питома енергоємність акумуляторних батарей, що накладає обмеження на дальність польоту безпілотного судна. Враховуючи це, розробники БПЛА віддають перевагу джерелам живлення на основі літію, а саме літій-полімерним акумуляторним батареям (далі – ЛПАБ), оскільки вони володіють досить високими питомими характеристиками.

Однією з актуальних задач при використанні ПАДЕ на основі літію є завдання вимірювання

/ контролю рівня заряду / розряду цих джерел електроенергії. Для проведення діагностики акумуляторів і акумуляторних батарей сьогодні використовуються такі електричні характеристики як напруга розімкненого ланцюга і під навантаженням, внутрішній опір і реакція на специфічний тестовий сигнал, який дозволяє визначити значення складових повного опору. Ці характеристики отримують різними способами залежно від електрохімічної схеми ПАДЕ і обробка результатів надалі відбувається також індивідуально [4; 5]. Якщо у сучасних обчислювальних пристроях, засобах комунікацій, медичних портативних приладах рішення цього завдання не є проблематичним, то при використанні ПАДЕ (а саме ЛПАБ) як джерела енергії БПЛА треба чітко контролювати ситуацію, адже втрата живлення БПЛА потягне за собою не тільки не виконання поставленої задачі, але й втрату літального апарату. А це тягне за собою не тільки екологічні та економічні втрати, але і втрати важливої інформації в умовах використання БПЛА у воєнний час. Інша сторона цієї проблеми полягає у тому, що при надмірному розряді або постійному недорозряді акумулятор втрачає свої властивості і строк його служби значно скорочується [6].

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Наразі основна маса виробників дронів (безпілотних повітряних суден) практикують так звані «польоти з фіксованим часом» – тобто метод контролю розряду ЛПАБ, який полягає у тому, що оператори та інженери, які обслуговують БПЛА, знаючи заявлений виробником у специфікації час розряду конкретної батареї, планують відповідний час польоту, який без сумніву по тривалості встановлюється меншим ніж час розряду батареї. А з огляду на вплив факторів повітряної обстановки (зустрічний або бічний вітер, опади і т.п.), важкість передбачення впливу яких призводить до підвищеного споживання потужності і таким чином до посиленого розряду батареї БПЛА – час польоту свідомо скорочують ще більше [7]. І всі ці дії виправдані, оскільки розряд батареї нижче допустимого рівня означає зупинку електромотора (або електромоторів) і відповідно втрату тяги, що у кінцевому підсумку може з великою часткою ймовірності привести до втрати літального апарату.

Але проблема виникає у випадках, коли погодні умови можуть різко змінитися – акумулятор у цьому випадку різко втрачає рівень заряду і БПС може не тільки не виконати поставлену задачу, але й зазнати краху. А це тягне за собою не тільки

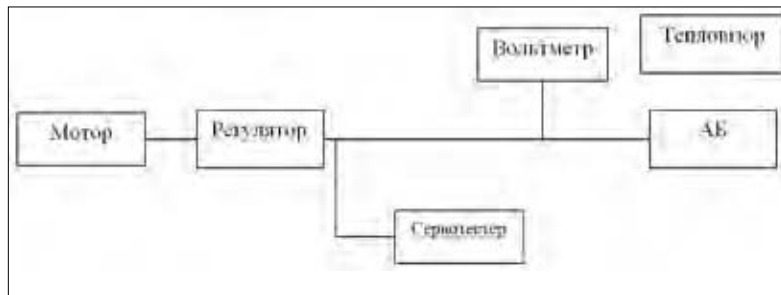


Рис. 1. Структурна схема макетної схеми контролю розряду ЛПАБ при роботі на БПЛА

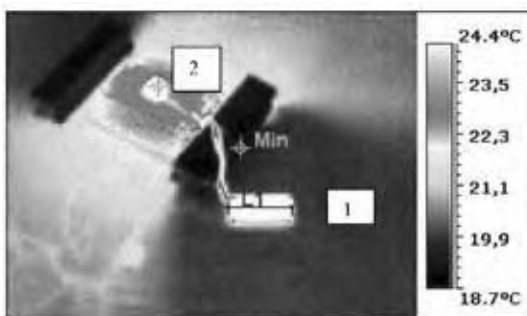


Рис. 2. Результат температурного аналізу досліджуваної макетної схеми за допомогою тепловізора, де 1 – акумуляторна батарея, яка живить двигун 2

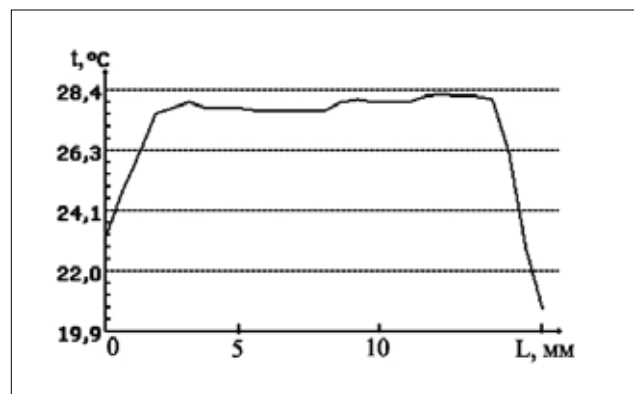


Рис. 3. Графік розподілу температури вздовж лінії L1 (рис. 2) акумулятора

екологічні та економічні втрати, але і втрати важливої інформації в умовах використання БПС у воєнний час. Інша сторона цієї проблеми полягає у тому, що при надмірному розряді або постійному недорозряді акумулятор втрачає свої властивості і його строк служби значно скорочується.

Другим поширеним способом забезпечення необхідного для виконання польотного завдання обсягу електроенергії є резервування, тобто установка на борт кількох АБ. Використання цього способу дозволяє попередити втрату БПЛА, тому що при розряді однієї батареї автоматично передбачено підключення іншої, потім третьої і т.д. Недоліком цього способу є неминуче зменшення маси корисного навантаження, яка встановлюється на БПЛА, що скорочує його споживчі показники, адже саме використання таких літальних апаратів для вирішення конкретних завдань замовника є економічно обґрунтованим.

Постановка завдання. Зважаючи на все вище зазначене, авторами була запропонована ідея дво-параметричного контролю стану літій-полімерної акумуляторної батареї при її роботі на БПЛА.

Першим контрольним параметром була обрана напруга на виході ЛПАБ. Вона дозволяє оцінити

поточний стан ЛПАБ наступним чином: отримане значення напруги порівнюється з точкою на розрядній характеристиці акумулятора (яка отримується початковими випробуваннями ЛПАБ або з паспортних даних) і відповідно її положення система робить висновок про можливість продовження польотного завдання або необхідність його припинення.

Другим контрольованим параметром була обрана температура самої ЛПАБ. Такий вибір був обґрунтований досить високою чутливістю акумулятора до температурних режимів роботи. Оскільки відомим фактом є те, що акумулятори на основі літію працюють внаслідок окисновідновних реакцій, що неминуче супроводжуються вивільненням теплової енергії, а також те, що полімери у ЛПАБ реагують на різке зниження температури (що неминуче при польоті БПЛА взимку), то можна стверджувати, що температура самої АБ буде вказувати на час продовження роботи цієї батареї або підключення додаткової батареї живлення для забезпечення безпечного польоту та повернення БПЛА «додому».

Отже, метою роботи є забезпечення електричного живлення для безаварійного польоту БПЛА.

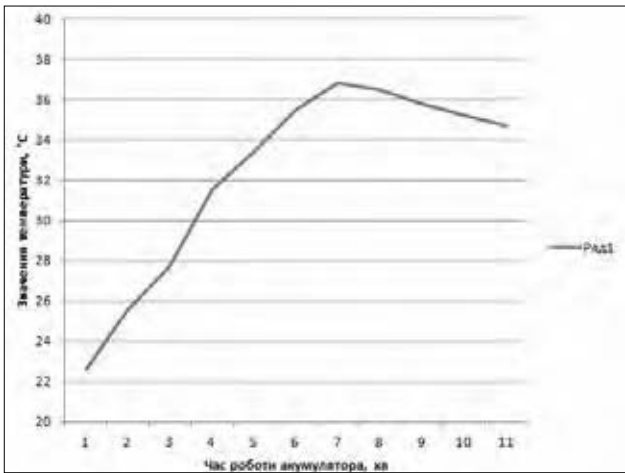


Рис. 4. Графік залежності температури ЛПАБ від тривалості роботи систем

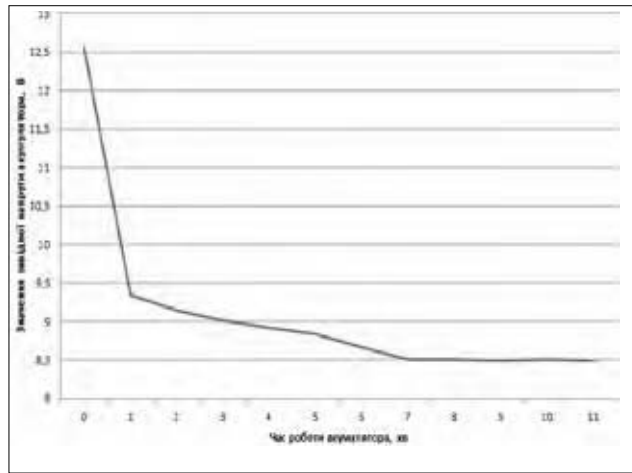


Рис. 5. Графік розрядної характеристики ЛПАБ

Тому задача контролю рівня заряду ЛПАБ на безпilotному судні під час польоту набуває особливої актуальності і потребує вирішення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Об'єктом випробувань була літій-полімерна акумуляторна батарея (далі – АБ) фірми zippy compact ємністю 1500mAh.

Для забезпечення необхідного реального навантаження на АБ для коректного дослідження її поведінки під час проведення випробувань у колі макетної схеми (рисунок 1) також використовувалися:

- безколекторний мотор KINGKONG 2204-2300KV;
- регулятор для безколекторних двигунів HobbyKing 12A BlueSeries Speed Controller;
- сервотестер TL2638 CCPM;
- мультитестер для вимірювання напруги UNi-T UT50D (20v±0,01v);
- тепловізор EasIR-4.

Саме тепловізор був обраний як прилад контролю температури тому, що він дозволяє побачити розподіл температури по поверхні досліджуваного об'єкта (рисунок 2, 3), що важливо для попереднього дослідження температурних змін при роботі ЛПАБ.

Дослід відбувався наступним чином: встановленням сервотестера у крайнє положення запускали роботу стенду з максимальним навантаженням на двигун при кімнатній температурі. При цьому кожну хвилину покази вольтметра фіксувалися і значення напруги заносили у таблицю. Одночасно фіксували температуру АБ за допомогою тепловізора. Дослід проводився до повної зупинки двигуна.

За результатами розрахунків були отримані графіки залежності температури (рисунок 4)

ЛПАБ від тривалості роботи схеми та розрядної характеристики ЛПАБ (рисунок 5).

На графіку можна побачити, що АБ спочатку саморозігрівається, а потім при зниженні потужності знижується і її температура.

За графіками видно, що ЛПАБ активно розряджається на протязі 2/3 повного часу розряду, а далі просто підтримує мінімально потрібний рівень напруги. Під час активного розряду відбувається підвищення температури всередині ЛПАБ, що зумовлено особливостями хімічних реакцій, що протікають всередині акумулятора. І саме у момент зниження швидкості розряду температура акумулятора починає падати (у порівнянні з попереднім процесом нагрівання). Тому момент припинення нагрівання акумулятора є контрольною точкою, зважаючи на яку система має приймати рішення про подальше виконання або припинення завдання. При цьому бажане підключення додаткового елемента батареї живлення для безпечного повернення БПЛА «додому». Для реалізації способу можна використовувати напівпровідникові або резистивні температурні сенсори.

Таким чином за запропонованим способом можна провести перше діагностичне випробування нової ЛПАБ перед польотом БПЛА, тим самим установивши індивідуальні характеристики акумулятора, які будуть занесені у пам'ять БПЛА для подальшого прийняття рішення при польоті. Сама ж методика неруйнівного контролю буде полягати у безперервній фіксації напруги живлення та температури акумулятора і порівнянні цих параметрів зі знятими попередньо. І по отриманим точкам на розрядній і температурній характеристиці можна буде прийняти рішення про можливість продовження або припинення завдання БПЛА. При

роботі ЛПАБ в умовах польоту БПЛА температуру акумулятора можна контролювати за допомогою датчика і отримані дані порівнювати з отриманими при першому пробному діагностуванні.

**Висновки.** Розроблено спосіб температурного контролю ЛПАБ для забезпечення безаварійного польоту БПЛА та його повернення «додому».

Пропонується попередньо проводити при навантаженні, яке імітує інтенсивний політ дрона, контроль нових та періодично батарей, які експлуатуються за параметрами температури та напруги живлення. При досягненні максимальної температури розігрівання батареї потрібно підключати додаткову батарею електроживлення.

#### Список літератури:

1. Reg Austin. UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS UAVS DESIGN, DEVELOPMENT AND DEPLOYMENT. John Wiley and Sons, 2010. 365 p.
2. John F. Keane, Stephen S. Carr. A Brief History of Early Unmanned Aircraft. Johns Hopkins APL Technical Digest. 2013. Т. 32, № 3.
3. William Wagner. Lightning Bugs and Other Reconnaissance Drones. Armed Forces Journal, 1982.
4. Дрон-почтальон Drone.UA и Новая Почта в галерее инноваций HUB 4.0. URL: <http://drone.ua/delivery-drone/> (дата звернення 15.05.2018)
5. Barton J. D. Fundamentals of Small Unmanned Aircraft Flight. Johns Hopkins Apl Technical Digest, 2012, V. 31(2), pp. 132-150.
6. Solero L., Lidozzi A., Pomilio J. A. Design of multiple-input power converter for hybrid vehicles. IEEE Trans. Power Electron. Sep. 2005. Vol. 20, № 5. P. 1007-1016.
7. Shukla A. K., Prem Kumar T. Materials for next-generation lithium batteries. Current Science, 2008, V. 94, № 3.

### СПОСОБ КОНТРОЛЯ ЛИТИЙ ПОЛИМЕРНОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА

*В статье рассмотрены основные классы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и возможности их использования. Определены основные типы элементов питания БПЛА. Целью работы является обеспечение электрического питания для безаварийного полета БПЛА. Предложен способ неразрушающего контроля состояния литиевых перезаряжаемых автономных источников электроэнергии (ПАИЭ) на борту БПЛА с помощью фиксации его текущей температуры. Приведены результаты опыта контроля температуры реальной системы с использованием оптико-электронного тепловизора. На основе полученных данных сделан вывод, что температурный сигнал может быть использован в качестве критерия включения дополнительной батареи или срочной посадки БПЛА.*

**Ключевые слова:** аккумуляторный автономный источник тока, литий-полимерные аккумуляторы, тепловизор, разрядная характеристика, беспилотное воздушное судно, температурный контроль.

### METHOD FOR CHECKING A LITHIUM-POLYMER BATTERY FOR UNMANNED AIRCRAFT

*The article deals with the main classes of unmanned aerial vehicles (UAVs) and the possibilities of their use. The basic types of power supplies of the UAV are determined. The aim of the work is to provide electric power for the UAV accident-free flight. The method of non-destructive control of the state of lithium rechargeable autonomous power sources (RAPS), on board the UAV by means of fixing its current temperature is proposed. The results of the experiment of temperature control of the real system using the optoelectronic thermal imager are presented. It was concluded on the basis of the obtained data, that the temperature signal can be used as a criterion for switching on an additional battery or stopping flight.*

**Key words:** rechargeable autonomous current source, lithium-polymer batteries, thermal imager, discharge characteristic, unmanned aerial vehicle, temperature control.