

В. О. Яценко¹, Ю. О. Клименко¹, О. О. Кочкодан¹, Ю. А. Малетин², С. О. Зелінський²

¹ Інститут космічних досліджень

Національної академії наук України та Державного космічного агентства України, Київ

² Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України, Київ

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ КОМБІНОВАНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ З УРАХУВАННЯМ НАДІЙНОСТІ, ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ТА РАДІАЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Приводяться результати теоретичних та експериментальних досліджень комбінованих накопичувачів енергії з урахуванням надійності, впливу температури та радіаційного випромінювання. Розроблено технічні пропозиції щодо використання комбінованих суперконденсаторів у супутникових приладах для космічних досліджень.

Ключові слова: комбіновані накопичувачі енергії, моделювання, оптимізація, надійність, температура, радіаційне випромінювання.

ВСТУП

У роботі представлено результати дослідження з НДР «Розробка технічних пропозицій щодо використання суперконденсаторів у супутникових приладах для космічних досліджень. Моделювання та оптимізація комбінованих накопичувачів енергії з урахуванням надійності, впливу температури та радіаційного випромінювання». Дослідження виконувались в рамках завдання «Аналіз результатів космічних експериментів та вироблення технічних пропозицій щодо дослідницьких приладів з вивчення іоносфери, космічного матеріалознавства та перспективних систем енергопостачання».

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМБІНОВАНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ

Виконана робота складається з комплексу досліджень, які розпочато у 2013 р. при виконан-

ні даного проекту. Це перспективний напрямок космічних досліджень, який спрямовано на обґрунтування та створення нових елементів енергоживлення космічних апаратів. Ці дослідження обумовлені планами перспективних космічних експериментів, які реалізуватимуться в українських програмах дослідження та використання космічного простору у найближчі роки, зокрема в діючій Загальнодержавній науково-технічній космічній програмі України на 2013—2017 роки. На теперішній час розробка, створення й експлуатація космічних апаратів неможлива без впровадження сучасних нанотехнологій. При розробці космічних апаратів потрібні нові матеріали, які повинні витримувати навантаження космічних польотів, низькі температури, глибокий вакуум, радіаційний вплив, маючи при цьому низьку масу та здатність забезпечувати надійність та довговічність роботи космічних приладів. З цього випливає актуальність створення нових накопичувачів енергії для космічних апаратів, зокрема комбінованих джерел енергії

© В. О. ЯЦЕНКО, Ю. О. КЛИМЕНКО, О. О. КОЧКОДАН,
Ю. А. МАЛЕТИН, С. О. ЗЕЛІНСЬКИЙ, 2015

(рис. 1) на основі акумуляторів та суперконденсаторів (СК).

Як чисто «фізичні» пристрої, процеси в яких не пов'язані з будь-якими хімічними чи електрохімічними перетвореннями, переносом заряду чи маси через межу розподілу електрод/електроліт, СК швидко заряджаються і розряджаються і мають більший ресурс роботи, ніж будь-які «хімічні» акумулятори, проте значно поступаються рівнем накопиченої енергії.

Переваги кожного з цих джерел енергії реалізуються в комбінованих пристроях (СК + акумулятор), в яких використання СК дозволяє значно збільшити час життя акумулятора, а також використовувати акумулятори меншої ємності і маси.

Експлуатаційні характеристики СК обумовлюються властивостями нанопористих вуглецевих електродних матеріалів та електролітів, що в них використовуються. Тому нами було отримано результати щодо їхніх електрохімічних властивостей, а також впливу радіації (гамма та електронного опромінення) на параметри макетів СК та показано переваги використання комбінованого джерела енергії). Також отримано результати з електронного опромінення гібридного джерела живлення (рис. 1). Його електроди містять компоненти як суперконденсатора, так і літій-іонних батарей. Показано, що такі джерела чутливіші до електронного опромінення, ніж звичайні СК, але сумарна доза, яка здатна суттєво погіршити технічні характеристики гібридного елемента (ємність та опір) може бути накопичена на навколореземних орбітах за час, який значно перевищує час життя супутника (рис. 2).

У процесі дослідження встановлено такі результати.

1. СК та гібриди чутливіші до дії електронного, ніж гамма-опромінення.
2. При типових дозах опромінення погіршенні характеристик СК та гібриду несуттєві.
3. Оптимізація характеристик системи дозволяє збільшити час роботи накопичувачів енергії на орбіті, істотно поліпшить їхню функціональність, показники системи енергозбереження на борту КА і підвищити його безпеку.



Рис. 1. Комбіноване джерело живлення на основі СК-модуля і літій-іонного акумулятора

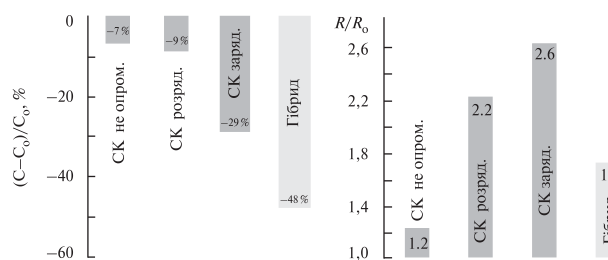


Рис. 2. Вплив електронного опромінення дозою 10^{16} ел./см² на характеристики СК і гібриду

Запропоновано нову математичну модель системи «накопичувач енергії на основі суперконденсаторів — система керування — сонячна батарея — інтерфейсний модуль — система збору та обробки наукової інформації». Оптимізація характеристик системи дозволяє збільшити час роботи накопичувача енергії на орбіті, істотно покращити їхню функціональність та показники системи енергозбереження на борту КА і підвищити його безпеку.

За вказаним напрямом розроблено технічні пропозиції щодо використання суперконденсаторів у приладах для космічних досліджень. Продовжено розробку математичної моделі та методи оптимізації нових типів накопичувачів енергії для супутників.

Набув подальшого розвитку багаторівневий підхід до моделювання суперконденсаторів та забезпечення його надійності з урахуванням впливу температури та радіаційного випромінювання. Підхід до моделювання засновано як на чисельних, так і аналітичних методах, що дозволяє врахувати різні просторові масштаби з використанням методу скінченних елементів.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРІВ В КОСМІЧНІЙ ГАЛУЗІ

За вказаним напрямом розроблено технічні пропозиції щодо використання суперконденсаторів в приладах для космічних досліджень.

Продовжено розробку математичної моделі та методів оптимізації нових типів накопичувачів енергії для супутників. Набув подальшого розвитку багаторівневий підхід до моделювання суперконденсаторів та забезпечення його надійності з урахуванням впливу температури та радіаційного випромінювання. Підхід до моделювання засновано як на чисельних, так і аналітичних методах, що дозволяє врахувати різні просторові масштаби з використанням методу скінченних елементів.

Перспективними є такі застосування.

1. Забезпечення безперебійного живлення тієї частини обладнання КА, де потрібні значні енерговитрати за порівняно короткий проміжок часу.

2. Гібридні джерела живлення (разом з акумуляторами і сонячними батареями).

3. Системи керування апаратом під час його запуску або руху по перехідній орбіті.

4. Механізми запуску і зупинки електрореактивних двигунів при зміні або корекції орбіти.

5. Системи аварійного захисту і знищення ракет-носіїв (тут СК виступає як детонатор піротехнічних блоків).

6. Застосування СК, пов'язані з проблемою космічного сміття.

В даний час обсяг фрагментованого сміття, особливо на низьких навколосезних орбітах, настільки великий, що є серйозний ризик зіткнення з ним космічних апаратів. Зіткнення з техногенним сміттям можуть стати причиною виходу супутника з ладу. Залишаючись на орбіті, такий супутник піддається подальшій багаторазовій фрагментації, що ще більш збільшує засміченість орбіти. На даний час ситуація з космічним сміттям стала незворотною, і назріла необхідність у створенні супутникової системи моніторингу та швидкого реагування на небезпечні фрагменти орбітального сміття з метою уникнути можливих зіткнень. У цьому зв'язку енергія суперконденсатора може забезпечити швидкий локальний

маневр супутника для виходу з фатальної траєкторії. Інший допустимий варіант — знищення небезпечного сміття за допомогою потужного лазера, імпульс для якого теж може дати суперконденсатор.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано нову математичну модель системи «накопичувач енергії на основі гібридних суперконденсаторів — система керування — сонячна батарея — інтерфейсний модуль — система збору та обробки наукової інформації».

2. Розроблено математичну модель, яка описує процеси зарядки-розрядки ультраконденсаторів з нанопористими вуглецевими матеріалами. Побудовано алгоритми оптимізації характеристик ультраконденсаторів з урахуванням процесів зарядки-розрядки.

3. Запропоновано новий чисельний алгоритм розв'язання задачі оптимізації ультраконденсаторів з урахуванням обмежень. Результати моделювання використано для обґрунтування моделей, які включають в себе температурну залежність і можуть досить адекватно моделювати поведінку різних типів ультраконденсаторів. Проведено аналіз програм моделювання, які були використані для їхнього порівняльного аналізу.

4. Запропоновано новий стохастичний підхід, який описує процес зарядки суперконденсаторів з нанопористими вуглецевими матеріалами. На відміну від інших підходів, де зміна заряду розглядається як неперервна функція, запропонований підхід адекватно враховує факт дискретності носіїв заряду в електроліті та деталізує механізми обміну носіїв між нанопорами та електролітом. Для спрощеної моделі електроліту одержано точні аналітичні розв'язки щодо накопичення заряду в нанопорах та показано, що остаточний сталий заряд лінійним чином залежить від розміру пор.

5. Обґрунтовано перспективність застосування накопичувачів енергії в конкретних наукових приладах. Показано, що гібридні джерела живлення є перспективними для мікросупутників.

1. Малетин Ю. А., Стрижакова Н. Г., Зелінский С. А. и др. Радиационная восприимчивость суперконденсаторов и перспективы их космического применения //

- Космічна наука і технологія. — 2013. — **19**, № 3. — С. 47—60.
2. Малетин Ю., Стрижакова Н., Зелінський С. та ін. Суперконденсатори як джерела енергії для мікросупутників // 14-а укр. конф. з космічних досліджень: Тез. доп. — Ужгород, 2014. — С. 123.
3. Yatsenko V. Space weather influence on supercapacitors and Li-Ion batteries for satellite power electronic applications // Energy Systems. — Springer, 2015.

Стаття надійшла до редакції 15.12.14

В. А. Яценко¹, Ю. А. Клименко¹, А. А. Кочкодан¹,
Ю. А. Малетин², С. А. Зелинский²

¹Институт космических исследований Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины, Киев

²Институт сорбции и проблем эндоэкологии Национальной академии наук Украины, Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ, ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И РАДИАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований комбинированных накопителей энергии с учетом надежности, воздействия температуры

и радиационного излучений. Разработаны технические предложения по использованию комбинированных накопителей энергии в спутниковых приборах для космических исследований.

Ключевые слова: комбинированные накопители энергии, моделирование, оптимизация, надежность, температура, радиационное излучение.

V. A. Yatsenko¹, Yu. A. Klimenko¹, O. O. Kochkodan¹,
Yu. A. Maletin², S. A. Zelinskyi²

¹Space Research Institute of National Academy of Science of Ukraine and State Space Agency of Ukraine

²Institute for Sorption and Problems of Endoecology of National Academy of Science of Ukraine

MODELING AND OPTIMIZATION OF HYBRID ENERGY STORAGE DEVICES BASED ON RELIABILITY, TEMPERATURE EFFECT AND SPACE RADIATION

The results of theoretical and experimental investigations of hybrid energy storage devices based on reliability analysis, temperature effects, and space radiation are presented. Technical proposals for using the combined energy storage devices in satellite instruments have been developed.

Key words: hybrid energy storage devices, modeling, optimization, reliability, temperature, space radiation.