

УДК 621.355:629.78

# ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ПО СРАВНЕНИЮ С ЛИТИЙ-ИОННЫМИ И СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫМИ ДЛЯ БПЛА

*К. А. КУЗЬМИН, курсант*

Белорусский государственной университет

Минск, Беларусь

**Аннотация.** Проведен сравнительный анализ никель-кадмиевых (Ni-Cd), литий-ионных (Li-ion) и свинцово-кислотных (Pb-acid) аккумуляторов для применения в системах электропитания беспилотных летательных аппаратов. Рассмотрены энергетические характеристики, температурная стойкость, безопасность и надежность различных типов аккумуляторных батарей. Определены перспективы применения Ni-Cd аккумуляторов для БПЛА военного назначения, эксплуатируемых в условиях низких температур.

**Ключевые слова:** никель-кадмиевый аккумулятор, литий-ионный аккумулятор, свинцово-кислотный аккумулятор, беспилотный летательный аппарат, система электропитания, удельная энергоемкость.

В современных условиях развития беспилотной авиации одним из ключевых факторов, определяющих эффективность применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), является выбор оптимальной системы электропитания. Аккумуляторные батареи составляют существенную часть массы БПЛА и напрямую влияют на тактико-технические характеристики аппарата, включая дальность и продолжительность полета, грузоподъемность и маневренность [1].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью обоснования выбора типа аккумуляторных батарей для БПЛА военного и двойного назначения с учетом специфики их эксплуатации: широкого диапазона температур, высоких механических нагрузок, требований к безопасности и надежности.

Целью данного исследования является сравнительный анализ никель-кадмиевых (Ni-Cd), литий-ионных (Li-ion) и свинцово-кислотных (Pb-acid) аккумуляторов для определения перспектив их применения в системах электропитания БПЛА.

Никель-кадмиевые аккумуляторы представляют собой химические источники тока, в которых в качестве катода используется гидроксид никеля (III), в качестве анода – кадмий, а электролитом служит водный раствор гидроксида калия [2]. Данный тип аккумуляторов имеет долгую историю применения в авиационной и аэрокосмической отраслях.

Основные преимущества Ni-Cd аккумуляторов: широкий рабочий диапазон температур (от минус 40 °С до плюс 50 °С), высокая удельная мощность (150...200 Вт·ч/кг), возможность быстрой зарядки, долгий срок службы (до 1000...2000 циклов), низкий саморазряд и высокая механическая прочность.

Литий-ионные аккумуляторы относятся к классу аккумуляторов с неводным электролитом, в которых переносом заряда между электродами обеспечивается движение литиевых ионов [3]. В качестве катода используются соединения лития с переходными металлами, в качестве анода – графит или другие углеродные материалы.

Ключевые преимущества Li-ion аккумуляторов: наивысшая среди распространенных типов удельная энергоемкость (150...250 Вт·ч/кг), отсутствие эффекта памяти, низкий саморазряд (2 %...5 % в месяц), широкий диапазон рабочих напряжений. Однако данный тип имеет существенные недостатки: высокую чувствительность к перезаряду и глубокому разряду, риск возгорания при механических повреждениях, ограниченный ресурс при экстремальных температурах.

Свинцово-кислотные аккумуляторы являются наиболее распространенным типом аккумуляторов благодаря низкой стоимости и простоте производства [4]. В данных аккумуляторах в качестве анода используется свинец, катода – диоксид свинца, электролита – серная кислота.

Преимущества Pb-acid аккумуляторов: низкая стоимость, высокая удельная мощность при кратковременных разрядах, хорошая ремонтпригодность, экологическая безопасность переработки. Недостатки: низкая удельная энергоемкость (30...50 Вт·ч/кг), большая масса, ограниченное количество циклов (300...500), чувствительность к глубокому разряду, необходимость обслуживания.

Сравнительный анализ характеристик представлен в табл. 1.

По удельной энергоемкости литий-ионные аккумуляторы значительно превосходят альтернативы: 250 Вт·ч/кг против 50...60 Вт·ч/кг у Ni-Cd и 35...45 Вт·ч/кг у Pb-acid. Это позволяет при использовании Li-ion увеличить длительность полета БПЛА на 30 %...50 % при равной массе батареи [5].

Табл. 1. Сравнительные характеристики аккумуляторных систем

Параметр	Ni-Cd	Li-ion	Pb-acid
Удельная энергоёмкость, Вт·ч/кг	50...60	150...250	30...50
Удельная мощность, Вт/кг	200...300	300...500	150...200
Рабочий диапазон температур, °С	-40...+50	-20...+60	-10...+40
Ресурс циклов	1000...2000	500...1500	300...500
Саморазряд в месяц, %	10...20	2...5	3...5
Относительная стоимость	Средняя	Высокая	Низкая
Пожарная безопасность	Высокая	Низкая	Высокая

Никель-кадмиевые аккумуляторы демонстрируют наилучшие характеристики в условиях низких температур, сохраняя работоспособность при минус 40 °С. Литий-ионные батареи при температурах ниже минус 20 °С резко теряют емкость и требуют подогрева. Свинцово-кислотные аккумуляторы ограничены диапазоном от минус 10 °С до плюс 40 °С.

С точки зрения пожарной безопасности Ni-Cd и Pb-acid аккумуляторы имеют преимущество: они не склонны к тепловому разгону и возгоранию. Литий-ионные батареи требуют сложных систем управления (BMS) и защиты от механических повреждений, что увеличивает массу и стоимость системы электропитания.

Беспилотные летательные аппараты предъявляют специфические требования к источникам питания: высокая удельная энергоёмкость для увеличения длительности полета, возможность работы в широком диапазоне температур и высот, высокая удельная мощность для обеспечения маневренности, механическая прочность для восприятия перегрузок, безопасность при аварийных ситуациях.

Несмотря на устаревание технологии, никель-кадмиевые аккумуляторы сохраняют перспективы применения в БПЛА военного назначения, эксплуатируемых в условиях арктического климата или при необходимости обеспечения повышенной пожарной безопасности. Современные разработки в области Ni-Cd технологий направлены на повышение удельной энергоёмкости и снижение токсичности кадмия за счет использования специальных сепараторов и улучшенных электродных материалов.

Для БПЛА разведывательного назначения с требованиями максимальной длительности полета целесообразно применение литий-ионных аккумуляторов с усиленной системой терморегулирования и защиты. Для БПЛА, эксплуатируемых в условиях низких температур без возможности подогрева, предпочтительны никель-кадмиевые батареи. Свинцово-кислотные аккумуляторы целесообразно применять в учебных и тренировочных БПЛА, где критична стоимость и не критична масса.

### **Выводы.**

1. Литий-ионные аккумуляторы обеспечивают максимальную удельную энергоёмкость и являются оптимальным выбором для БПЛА, где критична

длительность полета, при условии обеспечения терморегулирования и защиты от механических повреждений.

2. Никель-кадмиевые аккумуляторы сохраняют конкурентоспособность для БПЛА военного назначения, эксплуатируемых в условиях низких температур, благодаря высокой температурной стойкости, механической прочности и пожарной безопасности.

3. Свинцово-кислотные аккумуляторы целесообразно применять в учебных БПЛА и аппаратах начального уровня, где преобладают требования низкой стоимости над массогабаритными характеристиками.

4. Перспективным направлением является развитие гибридных систем электропитания, комбинирующих преимущества различных типов аккумуляторов для обеспечения оптимального соотношения энергоемкости, надежности и безопасности.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дмитриев, В. А.** Аккумуляторные батареи для беспилотных летательных аппаратов / В. А. Дмитриев // *Авиационные системы*. – 2022. – № 3. – С. 45–52.
2. Аккумуляторные батареи никель-кадмиевые. Общие технические условия : ГОСТ Р 53165–2008. – Введ. 01.01.2010. – М. : Стандартинформ, 2009. – 15 с.
3. **Коваленко, А. П.** Литий-ионные аккумуляторы: технологии и применение / А. П. Коваленко. – М. : Техносфера, 2021. – 368 с.
4. Аккумуляторные батареи свинцовые стартерные. Общие технические условия : ГОСТ Р 53164–2008. – Введ. 01.01.2010. – М. : Стандартинформ, 2009. – 12 с.
5. **Reddy, T. B.** *Linden's Handbook of Batteries* / T. B. Reddy. – 4th ed. – New York : McGraw-Hill, 2020. – 1200 p.

Контакты:

Gerofan02@gmail.com (Кузьмин Константин Андреевич).