

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ В СИЛОВЫХ УСТАНОВКАХ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ САМОЛЕТАХ

Кузьмин Александр Васильевич

канд. техн. наук, доц., Ульяновский Институт Гражданской Авиации имени главного маршала авиации Б. П. Бугаева, РФ, г. Ульяновск

Малкосян Евгений Андреевич

курсант учебной группы П-20-1, Ульяновский Институт Гражданской Авиации имени главного маршала авиации Б. П. Бугаева, РФ, г. Ульяновск

PROSPECTS FOR THE USE OF LITHIUM-ION BATTERIES IN POWER PLANTS ON ELECTRIC AIRCRAFT

Alexander Kuzmin

Candidate of Sciences, associate Professor, Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation B. P. Bugaev, Russia, Ulyanovsk

Evgeny Malkosyan

Cadet of the P-20-1 group, Ulyanovsk Institute of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation B. P. Bugaev, Russia, Ulyanovsk

Аннотация. В статье рассмотрены технические характеристики литий-ионных аккумуляторных батарей и воздушных судов, использующих такие батареи, а также преимущества таких АКБ и сравнение их с традиционными источниками электрической энергии.

Abstract. The article discusses the technical characteristics of lithium-ion batteries and aircraft using such batteries, as well as the advantages of such batteries and their comparison with traditional sources of electric energy.

Ключевые слова: литий-ионные аккумуляторные батареи, электрические самолеты, авиация.

Keywords: lithium-ion batteries, electric aircraft, aviation.

Аккумуляторные батареи широко используются в авиационной отрасли. По назначению они делятся на аэродромные и бортовые АКБ, применяемые на борту летательных аппаратов. Важным аспектом при выборе аккумуляторных батарей для авиации является не только их технические характеристики, но и специфика применения. Например, аэродромные

аккумуляторы обеспечивают энергией различные системы на земле, такие как освещение, обогрев и автономные источники питания. Они должны быть надежными, иметь высокий уровень безопасности и долгий срок службы, учитывая постоянные циклы зарядки и разрядки [2].

С другой стороны, бортовые аккумуляторы играют критическую роль в обеспечении энергией бортовых систем во время полета. Эффективная работа навигационных систем, световой сигнализации, коммуникационного оборудования и других устройств зависит от надежности и производительности бортовых аккумуляторов, особенно в аварийных ситуациях, когда основные источники энергии выходят из строя. Здесь важными являются такие параметры, как высокий уровень энергоемкости, относительно малая масса и стоимость необходимого оборудования, длительность эксплуатации, устойчивость к перепадам температур и возможность быстрой зарядки в условиях, когда каждая минута играет решающую роль. Выбор конкретного типа батарей осуществляется в зависимости от определенных требований, вытекающих из перечисленных критериев [3].

На воздушных судах с электрической силовой установкой встает вопрос выбора наиболее эффективного типа АКБ, с учетом их энергетических и массогабаритных характеристик.

На традиционных летательных аппаратах в качестве резервных источников питания применяются кислотные и щелочные аккумуляторы, соединяемые в батареи. Среди кислотных аккумуляторов для авиационной отрасли доминируют свинцово-кислотные модели, а среди щелочных АКБ – серебряно-цинковые и никель-кадмиевые. В разных условиях один из видов имеет преимущества перед другими, но в последние годы наиболее эффективными по большинству параметров остаются литий-ионные аккумуляторы [1].

В Таблице 1 приведен сравнительный анализ наиболее распространенных бортовых авиационных АКБ, по наиболее значимым характеристикам для летной эксплуатации.

Таблица 1.

Характеристики бортовых авиационных АКБ

Характеристика	Свинцово-кислотные	Серебряно-цинковые	Никель-кадмиевые	Литий-ионные
Напряжение	2 В/ячейка	1,86 В/ячейка	1,2 В/ячейка	3,7 В
Энергетическая плотность	30 – 50 Втч/кг	80 – 120 Втч/кг	40 – 60 Втч/кг	150 – 200 Втч/кг
Циклы заряд-разряд	300 – 700 циклов	150 – 300 циклов	500 – 1000 циклов	700 – 1000 циклов
Температурный диапазон	-20°C – 50°C	-20°C – 60°C	-20°C – 60°C	-20°C – 60°C
Саморазряд	5 – 15% в месяц	2 – 5% в месяц	10 – 20% в месяц	1 – 3% в месяц
Срок службы	Около 3 – 5 лет	До 10 лет	Около 5 – 10 лет	Около 10 – 15 лет
Эффективность	70 – 80%	75 – 90%	70 – 90%	80 – 90%

Как видно из Таблицы 1, литий-ионные АКБ обладают наибольшим напряжением на ячейку, что обеспечивает большую энергию на единицу массы или объема, и, соответственно, большую энергетическую плотность, а также меньшее количество аккумуляторов в АКБ. Благодаря этому литий-ионные АКБ, при тех же энергетических характеристиках, имеют меньшие массогабаритные характеристики, чем остальные типы АКБ.

Также литий-ионные батареи имеют больший ресурс, чем остальные типы батарей, что выражается в большем числе циклов зарядки и разрядки и сроке службы (Таблица 1). Достигается это благодаря относительно низкому уровню саморазряда (медленнее теряют заряд, когда не используются), а также низким или практически отсутствующим, так

называемом, «эффекте памяти», который характерен для никель-кадмиевых и других типов АКБ.

Эффект памяти – это явление, при котором аккумулятор теряет часть своей емкости из-за того, что он использовался не полностью перед повторным зарядом. Процесс формирования эффекта памяти происходит, когда аккумулятор часто заряжается до определенного уровня и разряжается лишь на небольшую часть своей емкости. При этом аккумулятор "помнит" только этот уровень и начинает терять емкость за пределами этого уровня. В результате частичного цикла заряд-разряд аккумулятор может снизить свою общую емкость, что ведет к укорочению времени работы устройства от одной зарядки [5].

Помимо вышесказанного, данный тип АКБ имеет наибольшую эффективность, которая выражается в процентном отношении энергии при разряде к энергии при заряде:

$$\text{Эффективность} = \left(\frac{\text{Энергия при разрядке}}{\text{Энергия при зарядке}} \right) \cdot 100\%$$

Высокая эффективность означает, что в процессе зарядки и разрядки теряется меньше энергии, что важно для экономии энергии и продления срока службы батареи.

Таким образом, наглядно показана перспективность использования литий-ионных аккумуляторных батарей в качестве основных источников электрической энергии на воздушных судах.

На Рисунке 1 приведены примеры существующих АКБ разных типов.



Рисунок 1. Примеры типовых АКБ:

а - свинцово-кислотные, б - серебряно-цинковые, в - никель-кадмиевые, г - литий-ионные

Для подтверждения вышесказанного, в Таблице 2 приведена сравнительная характеристика свинцово-кислотной АКБ Delta HRL 12-100 и литий-ионной батареи Ion Power Basic 12V-100 [8] [11].

Таблица 2.

Сравнительная характеристика АКБ

Характеристика	Delta HRL	Ion Power Basic
----------------	-----------	-----------------

		12-100	12V-100
Размеры	Длина, мм	342	330
	Ширина, мм	173	173
	Высота, мм	222	212
Вес, кг		33	13,6
Номинальная емкость (при $t = 25^{\circ}\text{C}$)	10-часовой разряд	100	100
	5-часовой разряд	86,75	100
	1-часовой разряд	75,1	100

В результате сравнения, указанного в Таблице 2, видно, что литий-ионная батарея при том же напряжении и емкости, что и свинцово-кислотная, более компактная и легкая, что является определено одним из важнейших преимуществ при выборе. К тому же литий-ионные батареи более устойчивы к изменениям температуры и могут обеспечивать стабильную производительность при различных условиях окружающей среды.

В настоящее время к АКБ, применяемым в качестве основного источника питания для электрических силовых установок самолетов, предъявляются такие требования как высокая емкость и энергетическая плотность, безопасность эксплуатации, устойчивость к окружающей среде, малый вес и компактность. Литий-ионные аккумуляторные батареи полностью удовлетворяют вышесказанным требованиям [4].

Одним из примеров использования литий-ионных АКБ является австрийский самолет «eDa-40». Он представляет собой полностью электрический легкий самолет, разрабатываемый и производимый компанией Diamond Aircraft Industries. Построен на базе модели учебного самолета «Da-40 NG» [8].

Далее показан внешний вид самолетов eDa-40 (Рисунок 2) и Da-40 NG (Рисунок 3).



Рисунок 2. Самолет eDa-40



Рисунок 3. Самолет Da-40 NG

Таблица 3.

Сравнительная характеристика Da-40 NG и eDa-40

Характеристика		Da-40 NG	eDa-40
Размеры	Длина, м	8,06	8,06
	Высота, м	1,97	1,97
	Размах, м	11,63	11,63
	База, м	2,97	2,97
	Колея, м	1,68	1,68
Силовая установка	Название	AustroEngine AE 300	SAFRANUS™ 100
	Мощность	168 л.с. (124 кВт)	170 л.с. (125 кВт)
Вместимость		4 человека	2-3 человека
Максимальная дальность, км		1730	180
Вес пустого самолета, кг		930	1130
Максимальная полезная нагрузка, кг		407	200
Максимальная взлетная масса, кг		1310	1310

Авиационный электродвигатель самолета eDa-40 – SAFRANUS™ 100 представляет собой современную автономную силовую установку с прямым приводом мощностью 125 кВт, обеспечивающую очень высокий рабочий КПД, превышающий 94%. На самолете установлена система литий-ионных аккумуляторных батарей EPiC Power [9].

На Рисунке 4 и 5, соответственно, показан внешний вид и размеры АКБ EPiC Power [10].



Рисунок 4. Внешний вид АКБ EPiC Power

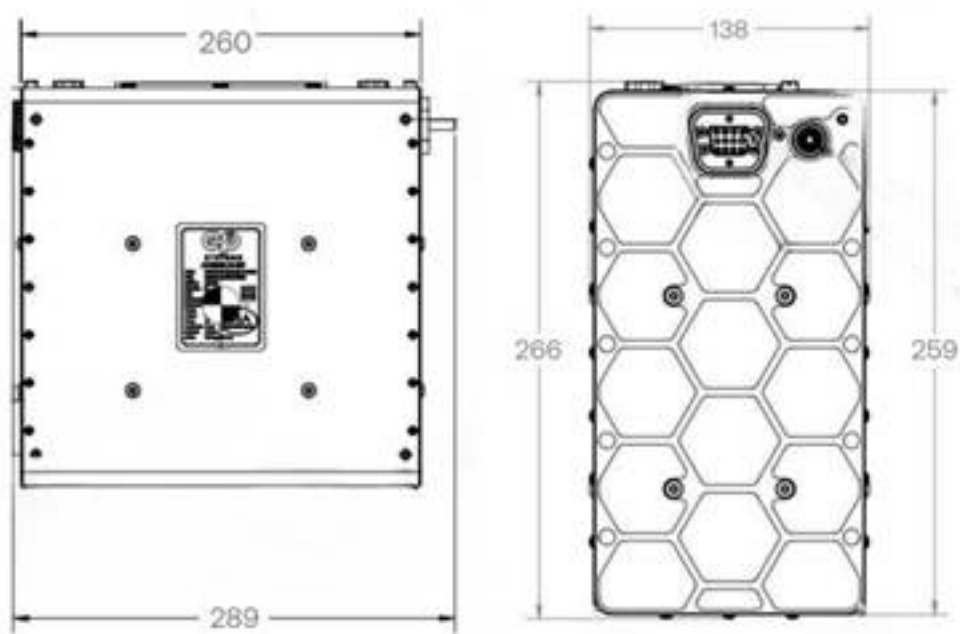


Рисунок 5. Размеры АКБ EPiC Power

На Рисунке 6 показана силовая электрическая установка самолета eDa-40, соединяемая с АКБ, а на Рисунке 7 – расположение аккумуляторов EPiC Power на самолете [6].

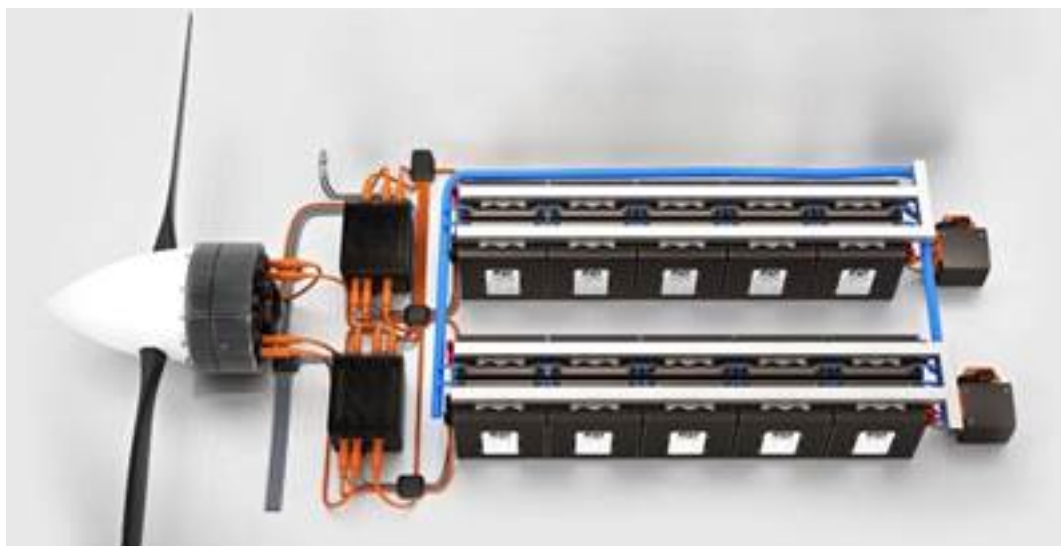


Рисунок 6. Силовая электрическая установка самолета eDa-40 совместно с АКБ



Рисунок 7. Расположение АКБ на самолете eDa-40

Как видно из Рисунка 7, за счет особенностей расположения АКБ (под фюзеляжем) центровка воздушного судна практически не изменяется, и, соответственно, не требуется вносить серьезных изменений в конструкцию самолета.

Таблица 4.

Характеристика модуля АКБ

Модель	AV2200L5-008
Энергия модуля, Втч	2222
Напряжение модуля (минимальное), В	15,0
Напряжение модуля (номинальное), В	19,5
Напряжение модуля (максимальное), В	22,3
Масса модуля, кг	12,3
Энергетическая плотность, Втч/кг	200
Циклы заряд-разряд	2000

Аккумуляторная система состоит из 36 модулей суммарной емкостью 80 Втч и обеспечивает дальность полета самолета порядка 117 морских миль (180 км), включая резервное время. Система быстрой зарядки постоянного тока (DC) компании Electric Power Systems способна полностью зарядить АКБ самолета менее чем за 20 – 30 минут [4].

Таким образом в настоящее время литий-ионные аккумуляторы являются наиболее перспективными источниками электроэнергии для силовых электрических установок самолетов. Они обладают высокой энергетической плотностью, что позволяет увеличить дальность полета электрических самолетов. Кроме того, они характеризуются низким уровнем саморазряда, обеспечивая эффективное сохранение энергии в периоды простоя, а также имеют небольшую массу и достаточно высокую стабильность работы.

Список литературы:

1. Аккумуляторные батареи для авиационной отрасли М., 2018. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://virtustec.ru/news/akkumulyatornye-batarei-dlya-aviacionnoj-otrasli/> (дата обращения: 04.02.2024)
2. Кириллов А.В., Ковалёв М.А., Соловьев В.И. Авиационные аккумуляторные батареи. – Самара: Самарский университет, 2020. – 80 с.
3. Кузьмин А.В. Авиационные аккумуляторные батареи и их летная эксплуатация: учеб. пособие. – Ульяновск: УИ ГА, 2018. – 82 с.
4. Требования к АКБ – М., 2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-C/part-23> (дата обращения: 09.02.2024)
5. Эффект памяти. – М., 2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://clck.ru/P7Y6b> (дата обращения: 06.02.2024)
6. AV2200L5-008. – М., 2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://epsenergy.com/wp-content/uploads/2023/07/EPiC-Product-Specification-Sheet-Public-Domain-Rev-2.pdf> (дата обращения: 15.02.2024)
7. DA40 Series Four seat versatility – М., 2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.diamondaircraft.com/en/private-owners/aircraft/da40/overview/> (дата обращения: 10.02.2024)
8. Delta HRL 12-100 – М., 2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.delta-battery.ru/catalog/hrl/delta-hrl-12-100/> (дата обращения: 06.02.2024)
9. eDA40 All-Electric Aircraft. – М., 2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://www.diamondaircraft.com/en/flight-school-solution/aircraft/eda40/overview/> (дата обращения: 10.02.2024)
10. EPiC Power. – М., 2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://epsenergy.com/products-services/epic-propulsion-battery-2/> (дата обращения: 15.02.2024)
11. Ion Power Basic 12V-100 – М., 2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://whisper-power.ru/shop/product/ion-power-basic-12-v-100-ach-12-v-100-ach-1280wh> (дата обращения: 06.02.2024)