

УДК 629.7.064.52

*Соколов Олег Аркадьевич,
заведующий кафедрой «Систем автоматизированного
управления»*

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
Университет гражданской авиации»*

им. А.А. Новикова

Россия, г. Санкт-Петербург

*Мелихов Иван Павлович, студент 3 курса факультет «Летной
эксплуатации» ЛЭГВС «Летная эксплуатация гражданских
воздушных судов»*

*ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
Университет гражданской авиации»*

им. А.А. Новикова

Россия, г. Санкт-Петербург

ПРИМЕНЕНИЕ АВИАЦИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

***Аннотация:** Аккумуляторы являются химическими источниками электроэнергии, работающими циклично, в режиме заряд – разряд, в которых химическая энергия (энергия окислительного и восстановительного процессов) превращается непосредственно в электрическую без промежуточной трансформации в другой вид.*

***Ключевые слова:** авиация, аккумулятор, батарея, самолет, напряжение, энергия, электрооборудование.*

***Annotation:** Batteries are chemical sources of electricity that operate cyclically, in charge-discharge mode, in which chemical energy (the energy of*

oxidative and reduction processes) is converted directly into electrical energy without intermediate transformation into another form.

Key words: *aviation, accumulator, battery, aircraft, voltage, energy, electrical equipment.*

Введение

Первый прообраз аккумулятора, который, в отличие от батареи Алессандро Вольты, можно было многократно заряжать, был создан в 1803 году Иоганном Вильгельмом Риттером. Его аккумуляторная батарея представляла собой столб из пятидесяти медных кружочков, между которыми было проложено влажное сукно. При пропускании через данное устройство тока от вольтова столба оно само стало вести себя как источник электричества. Трудно переоценить роль аккумуляторных батарей в жизнедеятельности человека. Пожалуй, ни одна отрасль промышленности, начиная от бытовой электроники и заканчивая космическими аппаратами, в современном мире не может обойтись без них. Аккумуляторные батареи (последовательное соединение нескольких аккумуляторов) применяются для автономного электропитания различных электротехнических устройств и оборудования. Создание высокоэффективного в энергетическом отношении источника энергии, способного длительное время выдавать большой разрядный ток, иметь большое значение ёмкости и срока службы при малых саморазряде и массогабаритных характеристиках – вот цель последних лет для разработчиков автономных источников питания.

Аккумуляторная батарея - химический источник тока. На борту воздушного судна является аварийным источником электроэнергии. При отказе всех генераторов аккумуляторная батарея должна обеспечивать электропитания всех потребителей первой категории в течение 30 минут. На

вертолётах и самолётах используются аккумуляторные батареи трёх видов: • кислотные / свинцовые • Щелочные / никель-кадмиевые • Литий ионные

1. Кислотные аккумуляторные батареи

Кислотная батарея представляет собой блок из эбонита, в котором выполнены 12 гнезд под единичные аккумуляторы (элементы). В каждом гнезде находятся положительные электроды из химически чистого свинца. Имеет губчатую структуру. Сепараторы исключают возможность внутреннего короткого замыкания. Верхней части каждого элемента находятся два полюса - плюс и минус. Ещё есть отверстия для заливки электролита (серная кислота + дистиллированная вода), после заливки отверстия глушится пробкой с вентиляционным отверстием.

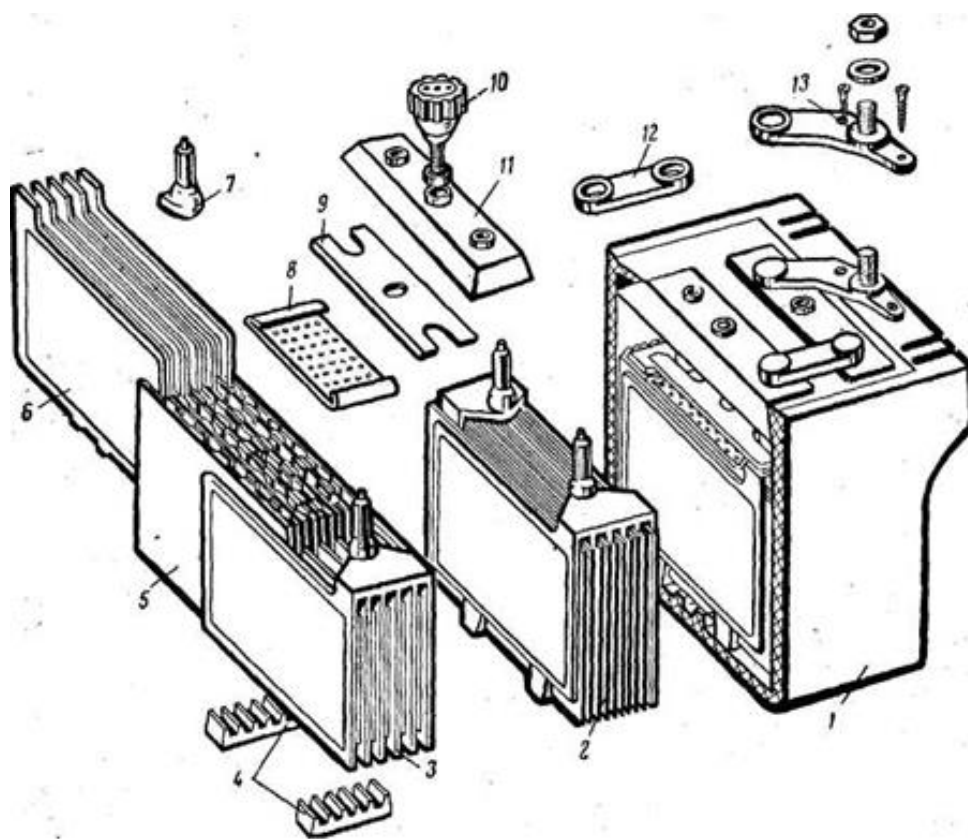


Рис. 1. Конструкция кислотной аккумуляторной батареи

1 — корпус; 2 — блок пластин; 3 — отрицательные пластины; 4 — опорные башмачки; 5 — сепараторы; 6 — положительные пластины; 7 — барретка; 8 — предохранительный щиток; 9 — отражательный щиток; 10 — пробка; 11 — крышка; 12 — межэлементное соединение; 13 — выходной зажим.

Основные характеристики ЭДС (2,15 В) $E = 0,84 + d$ (рабочее напряжение 24 В)

В заряженной батарее внутреннее сопротивление определяется сопротивлением пластин и электролита. В процессе разряда образуется вода, понижая концентрацию электролита. При этом возрастает сопротивление пластин. Из-за этого уменьшается напряжение батареи. Если разряженную батарею подключить к мощному источнику тока начнется обратный процесс.

Ввиду того, что напряжение батареи является критической характеристикой, на всех воздушных Судных перед полётом проводится проверка. Для этого в РЛЭ указывается план проверки.

$$U = 0,84 + d - i \text{ (чб)}$$

Ёмкость аккумуляторной батареи - это количество электричества, которое может отдать полностью заряженная батарея при её разряде до минимального допустимого напряжения. Минимальное допустимое напряжение - это напряжение, после разряда до которого батарея, подключённая к источнику постоянного тока полностью восстанавливает свои характеристики. Восстанавливаются концентрация кислоты и происходит нормальная сульфатация. Если батарея разрядится ниже минимального допустимого напряжения, то часть кристаллов свинца не разлагается. При этом уменьшается ёмкость батареи и максимальный разрядный ток.

Недостатки кислотных батарей (минусы) - Боятся вибрации (осыпается активный масса с пластин); Тяжелые; Боятся ударов, из-за хрупкого корпуса; Боятся глубоких разрядов и недозарядов

2.Щелочные аккумуляторные батареи

Состоят из 20 элементов, расположенных в два ряда в металлическом корпусе. Каждый элемент имеет свой корпус из полихлорвинила. В каждом элементе находятся положительные электроды между ними сепараторы из капрона или бумаги. В верхней части каждого элемента находится два полюса

виде резьбовых штырей, что обеспечивает лучшую эксплуатацию батареи для получения напряжения 24 В. На разноименные полюса надеваются соединительные металлические пластины, которые крепятся с помощью гаек и шайб. Также располагаются отверстия для заливки электролита. В качестве электролита используется гидрат оксид калия. По бокам металлического корпуса находится окна для контроля электролита. Электродвижущая сила щелочной батареи должна быть не менее 25 – 26 В. Напряжение при ввертывается при 90 – 100 ватт и должно быть не менее 24 В

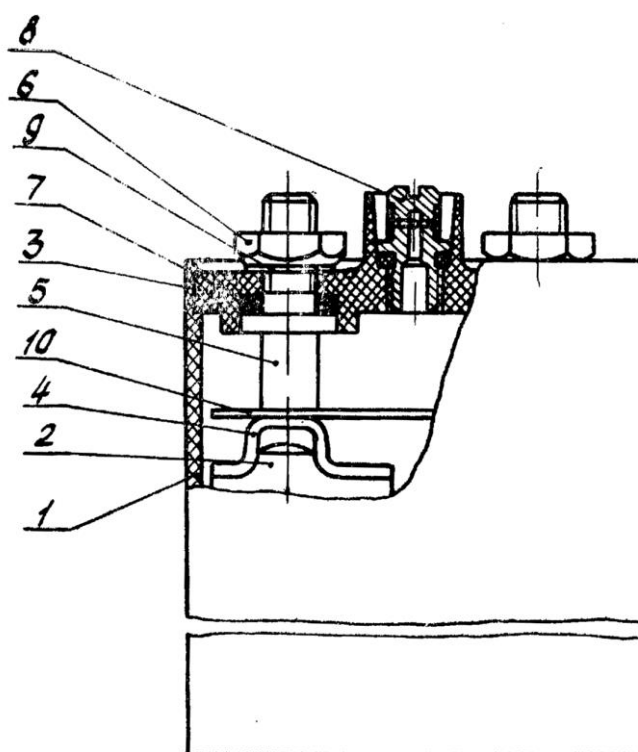


Рис.2. Щелочной аккумулятор (элемент) НКБН-25

1 – корпус ; 2 – блок пластин (электродов); 3 – крышка; 4 – мостик;
 5 – борн (полюсной штырь); 6 – гайка; 7 – уплотнительное кольцо;
 8 – пробка; 9 – шайба; 10 – экран.

Достоинства щелочных аккумуляторных батарей:

Щелочные аккумуляторы в сравнении с кислотными имеют следующие преимущества:

- меньше масса (примерно на 4÷5 кг);
- больше удельная мощность;

- не боятся ударов;
- не боятся вибрации;
- не боятся коротких замыканий во внешней цепи;
- не боятся недозарядов и глубоких разрядов;
- хранятся в разряженном состоянии;
- имеют большой срок службы;
- проще в эксплуатации.

Недостатки щелочных батарей (минусы)- Дорогие; Наличие явления теплового разгона

3. Сущность явления теплового разгона

Если до включения выпрямительных устройств аккумуляторные батареи были использованы для запуска ВСУ, то при начале их заряда величина зарядного тока может превысить 100 А. Но величина зарядного тока очень быстро уменьшается и через 1,0-1,5 часа не превышает 5-10 А. Под конец заряда аккумулятора начинается электролиз воды, в которой растворена щелочь, на кислород и водород. Газообразный кислород образуется возле положительных электродов, а водород - возле отрицательных. Если уровень электролита нормальный, то образующиеся газы поднимаются из электролита, не взаимодействуя с электродами, удаляются через отверстия в пробках. Если уровень электролита занижен и в сепараторе над электролитом есть повреждения, то через поврежденные места начинается встречное движение газов. Кислород движется к кадмиевому, отрицательному электроду. Водород - к положительному, из гидрата окиси никеля.

Водород никаких вредных воздействий на электрод не оказывает и удаляется из аккумулятора через отверстие в пробке. Кислород вызывает сильное окисление кадмия, что сопровождается значительным выделением тепла. При этом нагревается отрицательный электрод, а от него нагревается электролит, что приводит к уменьшению его электрического сопротивления, а следовательно к увеличению тока заряда уже заряженного аккумулятора, т.е.

ускорению реакции электролиза воды. В результате увеличивается количество газообразного кислорода, образующегося возле положительного электрода и, как следствие, проходящего через поврежденный сепаратор к отрицательному кадмиевому электроду. Происходит лавинообразный рост зарядного тока и температуры. Если образующиеся газы не будут успевать выходить через предохранительный клапан в пробке, возможен взрыв.

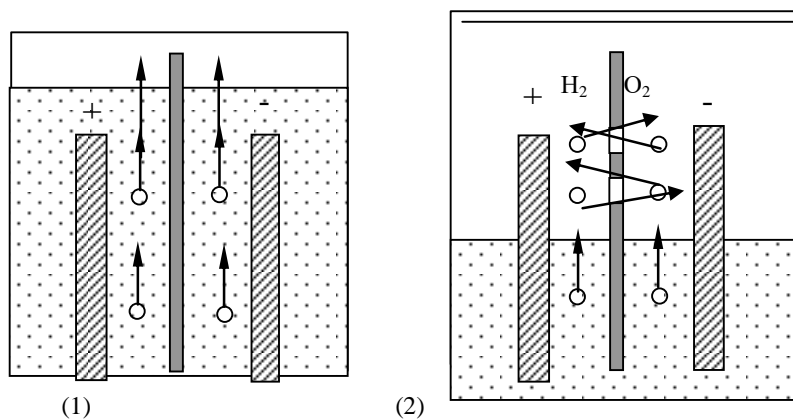


Рис.3. Явление теплового разгона

На первом этапе внедрение щелочных батарей в РЛЭ предполагалось каждые 30 – 50 минут контролировать ток заряда каждой аккумуляторной батареи. Если ток превышала 25 А, что было признаком теплового разгона, батарею нужно было отключить.

На втором этапе разгона на каждую батарею устанавливали датчик температуры. Если повышалась температура, датчик срабатывал, по его сигналу на приборной доске высвечивался жёлтый сигнал. На дисплее появлялся текст сообщающий об отказе соответствующие аккумуляторной батареи. В настоящее время работает устройство управления зарядом, которая контролирует ток заряда, температуру электролита, напряжение на клеммах и бортовой сети. При появлении признаков теплового разгона устройство отключает батарею на 10 – 15 секунд для охлаждения, после чего вновь

подключается к сети либо отключает батарею до конца полёта и включает соответствующую сигнализацию.

4.Литий-Ионные Аккумуляторные батареи

Боинг 787 — это первый в мире большой пассажирский самолет, на котором литий-ионные аккумуляторные батареи используются для основного аккумулятора и для ВСУ.

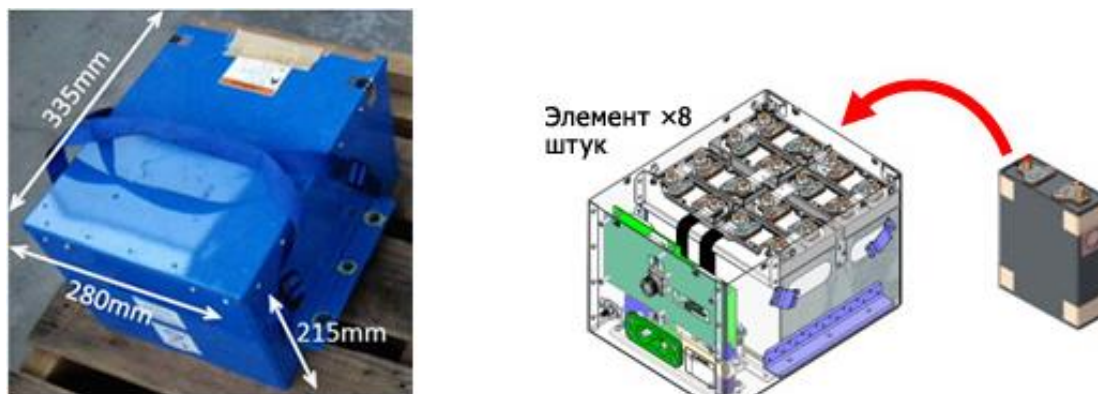


Рис.4. Аккумулятор Boeing-787

Преимущества литий-ионных батарей перед никель-кадмиевыми батареями :

- высокое напряжение и мощность электрического тока;
- меньший размер и сниженный примерно на 30% вес по сравнению с батареями с аналогичными характеристиками (в основном используются в портативных устройствах);
- больший срок службы (предусматривают вдвое больше циклов зарядки, чем никель-кадмиевые батареи);
- хорошие эксплуатационные характеристики (возможность быстрой перезарядки, отсутствие изменений в зарядной емкости, несмотря на повторяющиеся разрядки, медленное снижение заряда при неиспользовании).

В то же время, литий-ионные батареи отличаются следующими особенностями и рисками:

- риск воспламенения при высоких температурах в связи с использованием органического растворителя;
- риск короткого замыкания при вибрации, ударах, воздействии внешних сил, деформации и т. п.

Конструкция литий-ионных батарей

Как и обычные аккумуляторные батареи, литий-ионные батареи состоят из 3 элементов: положительного электрода (+), отрицательного электрода (-) и электролита.

Литий-ионные батареи, устанавливаемые на борту Боинга 787, предусматривают:

- положительный электрод (+): соединение алюминия + ионы лития;
- отрицательный электрод (-) — медь + углеродный материал;
- электролит — органический растворитель с содержанием ионов лития (Li^+)

На самолете Боинг 787 в синем отсеке аккумуляторных батарей расположено 8 элементов. Каждый элемент вырабатывает 4 В постоянного тока. При объединении 8 элементов они вместе вырабатывают 32 В постоянного тока. Помимо элементов, устанавливается электронный блок, контролирующий напряжение и температуру аккумулятора. Также предусмотрено устройство для контроля и регулирования напряжения в зарядном устройстве.

16 января 2013 года лайнер Boeing-787 японской авиакомпании All Nippon Airways (ANA), совершил вынужденную посадку в городе Такамацу на острове Сикоку примерно через полчаса после взлета из-за задымления в кабине пилотов. По данным первичного расследования, причиной стало возгорание аккумуляторной батареи в кабине пилотов. Аналогичный инцидент произошел неделей ранее с принадлежащим японской авиакомпании Boeing-787, который загорелся на стоянке в аэропорту американского города Бостона вскоре после высадки пассажиров. Как было

установлено, причиной пожара стал взрыв аккумулятора вспомогательной энергетической установки. Эти инциденты последовали за выявленными несколькими неделями ранее у трех Dreamliner проблемами в электросистеме, а также имевшими место ранее поломками двигателей и утечкой топлива у новых машин.

17 января Федеральное управление гражданской авиации США (FAA) приняло решение о приостановке полетов воздушных судов этой модели. О своем запрете на эксплуатацию самолета объявили также регуляторы Японии, Индии, Польши и Чили - тех стран, авиакомпании которых располагали такими авиалайнерами. Сама компания Boeing объявила о приостановке поставок заказчикам новых лайнеров Boeing-787. Всего в эксплуатации по всему миру на момент прекращения полетов находилось около 50 таких самолетов.

Механизм выхода из строя аккумулятора, дым от которого мог проникнуть в салон самолета, был изучен проектной группой компании Боинг (данная группа была создана с целью разработки пакета профилактических мер).

Проектная группа провела тщательный анализ примерно 100 возможных причин, выявленных в ходе расследования, и подтвердила, что примерно 20 из них были "теоретически возможными, но невыполнимыми в реальности" или что "они уже были устранены принятием соответствующих мер". Например, были исключены причины, которые не могли привести к выходу из строя аккумулятора, такие как перегрев элемента внешним пламенем. Возможность перезаряда также была исключена, так как по устранению этой проблемы уже было предпринято несколько мер, которые были признаны эффективными после проведения анализа летных данных на дату инцидента". Оставшиеся 80 причин были разделены на 4 категории.

Ослабление гайки, соединяющей электрод с металлом соседних элементов

Пример: В случае ослабления гайки на данном участке произойдет увеличение электрического сопротивления. При прохождении электрического тока вырабатывается тепло, передаваемое во внутреннюю часть элемента посредством электродов.

Нагрузка на элемент из-за короткого замыкания или изменения напряжения (износ элемента)

Пример: Влага, образующаяся в результате конденсации внутри отсека аккумуляторов, проникает между элементами или между элементом и отсеком аккумуляторов. При прохождении электрического тока раствор электролита внутри элемента начинает растворяться, образуя отложения металлического лития или влаги. При вступлении данных веществ в реакцию происходит внутренний перегрев.

Переразряд

Пример: В случае переразряда металл электродов начинает плавиться в растворе электролита. При следующем заряде аккумулятора металл будет образовывать отложения между положительным и отрицательным электродами, произойдет короткое замыкание, возникнет сильный электрический ток и нагрев внутри элемента.

Проблемы в ходе производства (например, включение посторонних веществ в конструкцию элемента)

Пример: Если в ходе производства кусочек металла попадает в элемент, происходит короткое замыкание положительного и отрицательного электродов с выделением тока большой силы или тепла внутри элемента.

На основании выявленных причин было реализовано 18 мер, реализованных компанией Boeing, образуют несколько уровней защиты для того, чтобы ни одна неполадка не могла привести к аварии. Другими словами, даже в случае перегрева одного из элементов, несмотря на все

профилактические меры, дополнительные меры помогут предотвратить нагревание других элементов (второй уровень защиты). Несколько уровней защиты позволят значительно повысить надежность всей системы аккумуляторов.

Компания Боинг определила все возможные случаи во время разработки профилактических мер. Был добавлен третий уровень усовершенствований, который должен предотвратить распространение проблем на салон самолета в маловероятном случае выхода из строя аккумулятора. Данные меры предосторожности помогают предотвратить проникновение дыма или тепла в кабину пилотов или салон самолета и позволяют исключить риск возгорания в отсеках для электронного оборудования, где установлены аккумуляторные батареи.

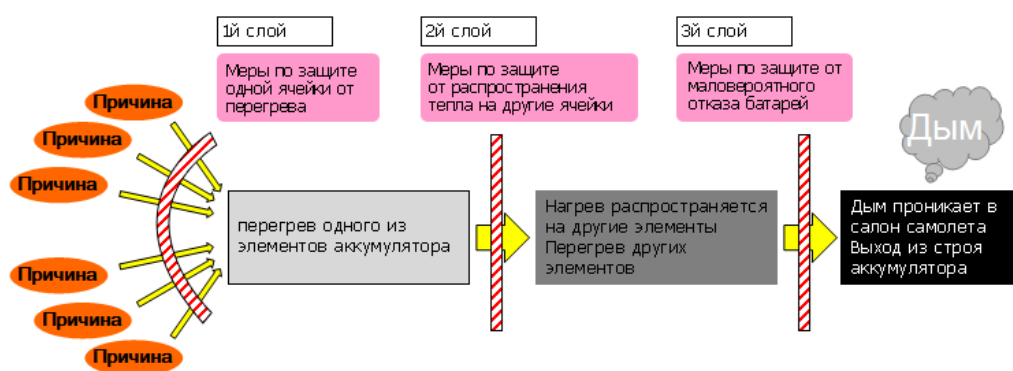


Рис. 5 Меры борьбы с воспламенением батарей

Первый уровень усовершенствований: меры по исключению основной причины (предотвращение внутреннего нагрева элемента)

- регулировка момента затяжки гайки, фиксирующей электрод;
- совершенствование изоляции элементов (обмотка изоляционной лентой);
- совершенствование изоляции нижней внутренней части отсека аккумуляторных батарей;
- совершенствование изоляции между элементами и элементами и отсеком аккумуляторов;

- совершенствование изоляции верхней внутренней части отсека аккумуляторных батарей;
- совершенствование изоляции армированного материала внутри отсека аккумуляторных батарей;
- сливные отверстия для удаления влаги;
- снижение максимально допустимого уровня заряда в блоке контроля аккумулятора и зарядном устройстве;
- стабилизация тока зарядки аккумулятора;
- совершенствование защиты от переразряда;
- ужесточение контроля элементов аккумуляторных батарей после производства;
- повышение контроля качества и т.д. в ходе производства.

Второй уровень усовершенствований: меры по исключению распространения проблемы между элементами

- изоляция элементов друг от друга и от отсека батарей для оказания сопротивления воздействию тепла;
- изготовление вентиляционного отверстия в корпусе аккумуляторных батарей;
- изоляция проводки в корпусе аккумуляторных батарей для оказания сопротивления воздействию тепла;
- трубка, соединяющая корпус аккумулятора с клапаном, для вывода веществ в нижнюю часть фюзеляжа.

Третий уровень усовершенствований в маловероятном случае выхода из строя аккумулятора (новый корпус предотвратит распространение проблем на салон самолета)

- размещение аккумуляторов в герметичном корпусе;
- трубка, соединяющая корпус аккумулятора с клапаном, для вывода веществ в нижнюю часть фюзеляжа.

Заключение

Аккумуляторные батареи имеют значительный потенциал для применения на воздушных судах. Они обладают экологическими преимуществами, снижают эксплуатационные расходы, повышают безопасность и открывают новые перспективы для развития авиации. Хотя существуют некоторые вызовы, но с постоянным прогрессом в технологиях, аккумуляторные батареи будут играть все более важную роль в авиации будущего.

Список литературы:

1. Аккумуляторные батареи на борту Боинг 787. Получено из jal.co.jp. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.jal.co.jp/rul/ru/flight/boeing787/battery/>.
2. Кириллов А.В. Авиационные Аккумуляторные батареи / А.В. Кириллов, М.А. Ковалёв, В.И. Соловьёв – Издательство Самарского университета, 2020 - С.5-9.
3. Файбышенко Л.А. Электрооборудование Воздушных судов гражданской авиации – Санкт-Петербург, 2010 – С.16-36.