

Региональная открытая конференции
по научно-техническому творчеству школьников «Лабиринты науки»

Тема работы:

**ПРОТОТИП УЧЕБНО-ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ БЕСКОНТАКТНОГО ЗАРЯДА
ПОЛЁТНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ МАЛЫХ
БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Секция: Техника

Кириллов Дмитрий Ильич

СОШ №12 им. П.Ф. Дерунова, г. Рыбинск

11а класс

Научный руководитель

Печаткин Андрей Валентинович

доцент кафедры «Электротехника и программируемая радиоэлектроника»

ФБГОУ ВО «РГАТУ имени П.А. Соловьева»

Оглавление

Введение	3
Основная часть	5
1. Особенности эксплуатации литий-полимерных батарей.....	5
2. Особенности бесконтактного заряда аккумуляторных батарей	7
3. Разработка прототипа учебного стенда для изучения особенностей дистанционного заряда LiPo аккумуляторов	9
4. Перспективы развития проекта	10
Заключение	11
Список использованных источников и литературы	11

Введение

Программируемые малые беспилотные воздушные суда (ПМ БВС), используемые в школах, Точках роста, кванториумах в качестве основных учебных пособий в STEM образовании, как правило, в качестве электропитания используют литий-полимерные аккумуляторные батареи с высоким показателем токоотдачи. Это справедливо и для профессиональных беспилотных систем и комплексов, использующихся вне помещений.

В настоящее время отдельное внимание сейчас уделяется вопросам бесконтактной зарядки бортовых аккумуляторных батарей, что особенно важно для увеличения автономного полёта БВС и возможности проведения подзарядки на специально оборудованных площадках, например реализованных на опорах ЛЭП (линиях электропередач) или на специализированных площадках [1, 2].

Для ПМ БВС, используемых в процессах дополнительного образования школьников, задача дистанционной подзарядки также является крайне актуальной в связи с небольшим уровнем ёмкости полетной батареи и ограничением по времени полета в пределах 10 минут. Во время проведения соревнований и показательных выступлений различного уровня и вида (дрон-рейсинг, фристайл, шоу дронов и т.п.) возможность бесконтактной подзарядки на стартовой площадке была бы крайне полезной, позволяющей существенно увеличить время выступления и исключать нахождение в защищенной полетной зоне технического специалиста или оператора, осуществляющего смену батареи [3].

Энергопередатчик и энергоприёмник образуют единый энергокомплекс, который в зависимости от потребностей может быть разнесен в геометрическом пространстве трассы и реализован как в виде автономных объектов, функционирующих независимо и самостоятельно, так и в виде взаимосвязанной системы, действующей в соответствии с командами внешнего центра управления.

Актуальность проекта

Интеграция энергоприёмника дистанционной зарядки и преобразователя напряжения в корпус БВС, равно как и монтаж энергопередатчика с сопутствующей электроникой на стартовую площадку или на элементы конструкции трассы и реквизиты шоу дронов требуют изучения принципов и ограничений дистанционной зарядки. Эти ограничения связаны с контракцией и размещением компонентов энергокомплекса, расстоянием между энергоантеннами, наличием и материалом преград, внешними условиями.

Т.о., задачи использования дистанционной зарядки для авиационной и наземной техники являются актуальными и требуют детального исследования.

Из сказанного вытекают цели и задачи проекта.

Цели проекта: разработка полнофункционального прототипа учебного стенда для изучения и исследования процессов бесконтактного заряда бортовых аккумуляторных батарей летающей и наземной робототехники.

Задачи проекта:

- 1) изучение принципов и особенностей заряда литий-полимерных аккумуляторов;
- 2) изучение принципов и особенностей устройств и узлов бесконтактного заряда аккумуляторов;
- 3) разработка, изготовление и проведение испытаний прототипа стенда для изучения процессов дистанционной зарядки;
- 4) разработка предложений по дальнейшему развитию проекта.

Область использования: учебный процесс основного и дополнительного профессионального образования в области изучения, проектирования и использования авиационных и роботизированных систем.

Основная часть

1. Особенности эксплуатации литий-полимерных батарей

Несмотря на существенные преимущества по сравнению с аккумуляторами другого типа среднее время активной «жизни» LiPo батарей, в целом не велико и зависит не только от количества циклов заряда и разряда, но и от условий эксплуатации [4]:

- превышение предельного напряжения и токов заряда;
- разряд до критического уровня напряжения;
- длительный саморазряд батарей при оставлении их на БВС;
- длительное хранение в максимально заряженном и разряженном состоянии;
- зарядка горячих батарей, интенсивно отдававших свой заряд при полётах;
- хранение батарей при низких или высоких температурах;
- повреждение корпуса батареи.

Наличие хотя бы одного из перечисленных выше факторов приводит к уменьшению ёмкости аккумуляторной батареи, вздутию, невозможности дальнейшей эксплуатации, а в случае нарушений правил зарядки или повреждения мягкой оболочки батареи – к самовозгоранию с выделением ядовитого газа.

Особенности эксплуатации литий-полимерных батарей отражены в приложении А.

LiPo батареи состоят из отдельных элементов – cell(s) (также обозначаемых как «S»). Каждый LiPo элемент имеет номинальное напряжение 3.7 В. Если требуется более высокое напряжение, эти элементы могут быть соединены последовательно, чтобы впоследствии сформировать одну аккумуляторную батарею (АКБ). Обычно при упоминании литий-полимерной АКБ ссылаются не на напряжение аккумулятора, а на количество элементов (банок) в аккумуляторе или на количество «S»: 1S = 1.

LiPo аккумулятор предназначен для работы в безопасном диапазоне напряжений от 3 до 4.2 вольт на банку. Чрезмерная зарядка выше 4.2 вольт может быть опасной и в конечном итоге приведёт к пожару. Разряд ниже 3 вольт приводит к необратимой потере производительности и даже повреждению батареи. Рекомендуется прекращать работу батареи, когда её напряжение достигнет отметки в 3.5 вольта.

Ёмкость LiPo батареи измеряется в миллиампер-часах – это, показатель того, сколько тока можно получить от аккумулятора в течение часа, пока он не разрядится. Увеличение ёмкости аккумулятора приводит к увеличению время полёта, но с увеличением ёмкости также увеличиваются вес и физические размеры АКБ. Помимо всего, прочего, более высокая ёмкость предопределяет более высокий ток разряда.

Авиапарк СОШ №12 им. П.Ф Дерунова разнообразен и имеет очень важную особенность, связанную с эксплуатацией LiPo батарей. В частности, дроны Геоскан Пионер Мини и Xiaomi Mito используют стандартные батареи, но квадрокоптеры серии Tello используют LiPo-HV аккумуляторы – разновидность обычной литий-полимерной АКБ, где аббревиатура HV означает «High Voltage» – высокое напряжение.

По сравнению с обычными, LiPo LiHV имеют увеличенную энергоёмкость, и такие аккумуляторы можно безопасно заряжать до напряжения 4.35 вольт на банку. При одинаковой ёмкости эти батареи меньше и легче, обеспечивают большую динамичность радиоуправляемой модели, более продолжительное время работы, меньшую просадку напряжения на максимальных режимах работы. Однако считается, что на фоне повышенной производительности, LiHV батареи имеют меньший срок службы. Заряжать обычные LiPo до напряжения 4.30–4.35 вольта в надежде повысить их производительность категорически запрещено! *В противном случае это приводит к воспламенению АКБ!*

Важным показателем бортовых LiPo батарей является C-рейтинг – скорость токоотдачи (англ. C-Rating/Discharge Rate). Зная номинальное

значение C-рейтинга и ёмкость батареи, можно рассчитать теоретический безопасный постоянный максимальный ток разряда LiPo батареи:

$$\text{Макс. ток разряда} = C - \text{Rating} \times \text{Ёмкость}/1000. \quad (1)$$

Слишком маленькое значение C-рейтинга не позволит дрону развивать свой максимальный лётный потенциал и он будет менее динамичным. А если ток превысит номинальное значение, то можно в результате даже повредить батарею. В тоже время когда C-рейтинг выше требуемого, не получается значительного улучшения в производительности. Вместо этого батарея будет тяжелее, что опять же отрицательно скажется на времени полёта.

Другим не менее важным параметром, который сказывается на ресурсе батареи является C-рейтинг заряда/скорость заряда (англ. Charge Rate). Большинство аккумуляторных батарей рассчитаны на скорость заряда 1C. Данное значение предопределяет максимально допустимую силу тока, которой можно безопасно заряжать аккумулятор. Рассчитать максимально возможный зарядный ток для конкретной батареи можно по формуле:

$$\text{Ёмкость (мАч)}/1000 \times \text{«Charge Rate»} = \text{XX ампер}. \quad (2)$$

Значение зарядного тока является одним из нескольких предустанавливаемых настроек зарядного устройства перед зарядкой АКБ.

Превышение макс. допустимого значения тока заряда неизбежно приведёт к возгоранию АКБ!

Чем ниже сила тока, которой заряжается батарея, тем дольше время её полного заряда. *Медленная зарядка продлевает срок службы батареи.*

Таким образом Становится понятным важность изучения в школе вопросов эксплуатации и зарядки полётных батарей различных типов.

2. Особенности бесконтактного заряда аккумуляторных батарей

В основе работы беспроводной зарядки лежит принцип электромагнитной индукции, явление которой было открыто Майклом Фарадеем ещё в 1831 году.

Первое коммерческое устройство появилось в 2009 году. Однако с тех пор технология беспроводной зарядки аккумуляторов так и не стала массовой. Бесконтактная зарядка имеет неоспоримые преимущества:

- удобство использования: нет необходимости искать подходящий кабель и блок питания для него;
- универсальность: одну зарядную станцию можно использовать с разными устройствами;
- надежность:
 - а) уменьшается количество отверстий, через которые в корпус устройства может попасть влага;
 - б) защита коннектора (разъема) устройства: не нужно постоянно вставлять и вынимать кабель, следовательно, USB-разъём останется целым;
- доступная энергия: зарядные станции можно организовать в наиболее удобных и необходимых местах;

Несмотря на неоспоримое удобство, беспроводной зарядкой оснащается едва ли одна четвертая современных гаджетов. В сфере беспилотников ситуация ещё хуже.

И причин для этого несколько:

- 1) низкая скорость зарядки: из-за низкой мощности и потерь энергии скорость зарядки значительно снижается;
- 2) нагрев: причина данного недостатка кроется в самой индукционной технологии – корпус устройства будет нагреваться и со временем это может причинить вред аккумуляторной батарее;
- 3) точность размещения на платформе: изменение взаимного объемного положения катушек приводит к потере мощности;
- 4) ограниченность использования устройства во время зарядки.

Особенности бесконтактного заряда аккумуляторных батарей приведены в приложении Б.

3. Разработка прототипа учебного стенда для изучения особенностей дистанционного заряда LiPo аккумуляторов

С целью изучения механизмов дистанционной зарядки и исследования влияния параметров материалов и окружающей среды был разработан и реализован прототип учебно-исследовательского стенда.

Конструкция стенда включает: стол с модулем однокатушечного энергопередатчика, перемещающийся по вертикали с помощью штатива, систему электропитания и систему измерения напряжения и тока на входе энергопередатчика и на выходе энергоприёмника. Дополнительно измеряется температура заряжаемой батареи. Зарядная станция подключается к электросети или к внешнему аккумулятору – с этой целью на боковой стенке установлен трёх позиционный переключатель.

После активации стенда включаются медленно пульсирующие светодиоды зеленого цвета, информирующие о готовности станции к заряду аккумуляторно батареи. На цифровых измерителях отображаются параметры напряжения и тока энергопередатчика.

Если энергоприёмник находится вне зоны обнаружения (расстояние больше критического) индукционный ток отсутствует и зарядная станция переходит в режим ожидания (покоя) и зеленые светодиоды гаснут, при этом цифровые измерители напряжения и тока остаются активными.

При сближении катушек энергопередатчика и энергоприёмника в их цепях наводятся индукционные токи, о чём свидетельствуют мерцающие светодиоды синего цвета. и начинается активная токотдача на заряжаемую батарею. Значения отдаваемых токов и уровни напряжений на энергоприёмнике и энергопередатчике отображаются на 7-ми сегментных индикаторах цифровых измерителей. Стабильное мерцание синих светодиодов свидетельствует о формировании устойчивого индукционного энергоканала.

Температура корпуса батареи контролируется электронным термостатом. В настоящее время его платиновый сенсор, помещенный в

металлическую гильзу, находится внутри стенда. В рабочем положении он находится снаружи и устанавливается на корпус батареи.

Для удобства наблюдения в демонстрационном варианте прототипа, показанного в приложении В, в качестве нагрузки используется светодиодная гирлянда длиной 3 метра, с 30 светодиодами и паспортной мощностью потребления 1.5 ампера.

Стенд позволяет работать с любыми аккумуляторами формата 1S и не только с литий-полимерными, но и например, с литий-ионными, литий-кадмиевыми и т.д. Работа с тем или иным типом аккумулятора определяется контроллером заряда и не зависит приёмник и передатчика дистанционной зарядки. Это увеличивает возможности учебно-исследовательского стенда.

4. Перспективы развития проекта

Успешное испытание прототипа позволяет уверенно говорить о перспективах развития данного проекта.

В планах:

- переход на микропроцессорную версию стенда с энтодером и большим цветным ЖКИ дисплеем для замены отдельных измерительных модулей;
- установка датчика температуры и влажности для контроля окружающей среды;
- разработка поворотного 3D стола энергопередатчика для возможности его смещения по горизонтали и углу наклона;
- доработка конструкции стола передатчика и платформы приёмника для возможности их оперативной смены с целью изучения влияния формы и количества их индукционных катушек;
- разработка климатической камеры для создания различных условий окружающей среды: пониженной и повышенной температуры влажности давления.

Заключение

В процессы выполнения проекта была успешно реализована задача разработки и практической апробации учебного стенда для изучения процессов дистанционного заряда бортовых полетных аккумуляторных батарей.

Стенд может использоваться для отработки конструктивных решений выбора и размещения модулей дистанционной зарядки, исследования влияния конструкционных материалов, конфигурации и взаимного расположения энергоантенн при проектировании учебных БВС и робототехнических комплексов в условиях школьных лабораторий.

Считаю, что цель моего проекта достигнута.

Список использованных источников и литературы

1. Дроны без перерыва: технологии увеличения времени полёта и беспроводной зарядки БПЛА. Курсы обучения специалистов БПЛА. [Электронный ресурс] URL: <https://bpla.ru-dpo.ru/blog/tehnologii-bpla,-drony/drony-bez-pereryva-tehnologii-uvelicheniya-vremeni-polyota-i-besprovodnoy-zaryadki-bpla>. Дата обращения 15.11.2025

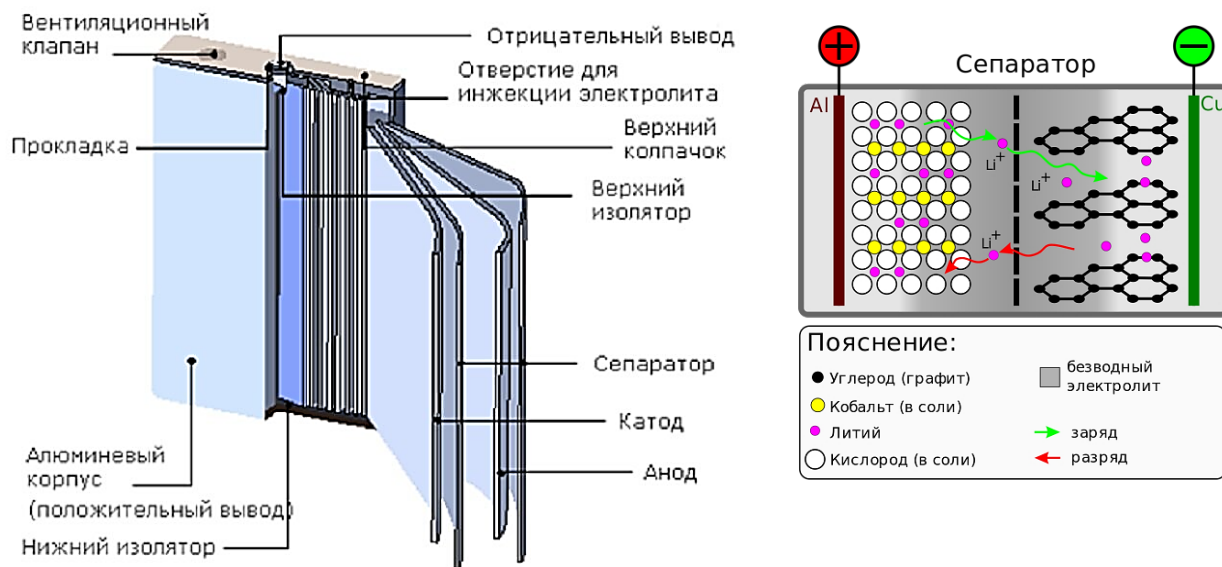
2. TechnoBee: Рабочие конспекты. БПЛА и Роботы. Часть 11. Аккумуляторы и зарядные станции для FPV дронов. [Электронный ресурс] URL: <https://technobee.ru/index.php/pilotu-oblozhka/obuchenie-kursy/item/zanyatie-11-akkumulyatory-i-zaryadnye-stantsii-dlya-fpv-dronov>. Дата обращения 15.11.2025

3. Устройство для беспроводной зарядки аккумуляторных батарей БПЛА / Зазулин Ярослав, Карпунин Павел, Киреев Константин // Журнал «Беспроводные технологии», №2, 2019. [Электронный ресурс] URL: <https://wireless-e.ru/wp-content/uploads/4555.pdf>. Дата обращения 15.11.2025

4. Всё о LiPo батареях для FPV дронов. Онлайн журнал о дронах ДроноМания. [Электронный ресурс] URL: <https://dronomania.ru/faq/vsyo-o-lipo-batareyah-dlya-fpv-dronov.html>. Дата обращения 15.11.2025

Приложение А

Особенности эксплуатации литий-полимерных батарей



Плюсы:

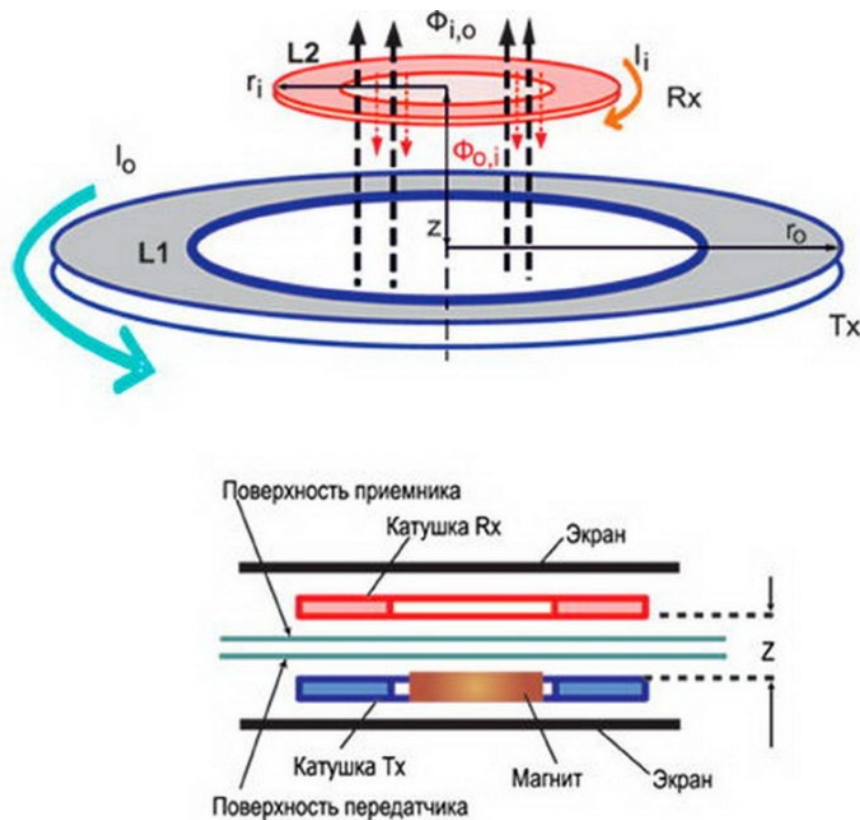
- ❖ Гибкость конструкции: используется полимерный электролит, не требуется наличие жесткого металлического корпуса, что позволяет создавать АКБ самых разных форм или размеров;
- ❖ Малый вес: отсутствуют тяжелые металлические оболочки;
- ❖ Большая плотность энергии: способны накапливать большой запас энергии при небольших размерах;
- ❖ Сниженный риск утечек: в отличие от батарей с жидким электролитом, в Li-Pol АКБ используется гелеобразный или же твердый электролит, который не подвержен протечкам. Это делает их безопасными в повседневном использовании;
- ❖ Низкий саморазряд: батареи теряют заряд значительно медленнее в сравнении с другими видами АКБ. Это позволяет дольше сохранять энергию при длительном хранении.

Минусы:

- ❖ Чувствительность к механическим повреждениям: прокол, сильный изгиб или разрыв корпуса способны стать причиной короткого замыкания и перегрева, что может закончиться возгоранием;
- ❖ Короткий срок службы: в среднем выдерживают 300–500 циклов заряда-разряда, после чего их эффективность снижается;
- ❖ Чувствительность к условиям эксплуатации: плохо переносят экстремальные температуры. Так, на холоде их емкость уменьшается, а жара может стать причиной вздутия и даже разрушения элемента.
- ❖ Высокая цена: дороже в изготовлении, чем литий-ионные;
- ❖ Необходимость контроллеров заряда: для безопасного использования требуются специальные схемы защиты и балансировки заряда.

Приложение Б

Особенности бесконтактного заряда аккумуляторных батарей



Достоинства:

- ❖ удобство использования: нет необходимости искать подходящий кабель и блок питания для него;
- ❖ универсальность: одну зарядную станцию можно использовать с разными устройствами;
- ❖ надежность:
- ❖ а) уменьшается количество отверстий, через которые в корпус устройства может попасть влага;
- ❖ б) защита коннектора (разъема) устройства: не нужно постоянно вставлять и вынимать кабель, следовательно, USB-разъем останется целым;
- ❖ доступная энергия: зарядные станции можно организовать в наиболее удобных и необходимых местах;



Недостатки:

- ❖ низкая скорость зарядки: из-за низкой мощности и потерь энергии скорость зарядки значительно снижается;
- ❖ нагрев: причина данного недостатка кроется в самой индукционной технологии – корпус устройства будет нагреваться и со временем это может причинить вред аккумуляторной батарее;
- ❖ точность размещения на платформе: изменение взаимного объемного положения катушек приводит к потере мощности;
- ❖ ограниченность использования устройства во время зарядки.

Приложение В

Прототип учебно-испытательного стенда для исследования процессов
бесконтактного заряда полётных аккумуляторных батарей малых
беспилотных воздушных судов

