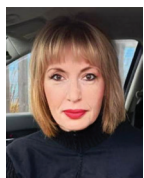


Беспилотные электрические летательные аппараты и комплексы для мониторинга на железнодорожном транспорте



К. К. Ким,
д-р техн. наук, заведующий
кафедрой электротехники
и теплоэнергетики
Петербургского
государственного
университета путей
связи Императора
Александра I (ПГУПС),



Е. Б. Королева,
канд. техн. наук,
доцент кафедры
электротехники
и теплоэнергетики
ПГУПС,



А. А. Ткачук,
канд. техн. наук,
доцент кафедры
электротехники
и теплоэнергетики
ПГУПС

Для увеличения времени непрерывного полета электрических беспилотных летательных аппаратов можно предложить ряд оригинальных конструктивных решений по подзаряду их аккумуляторных батарей.

Целесообразность использования беспилотных электрических летательных аппаратов (БПЛА) и комплексов (БПЛК) для мониторинга в различных сферах человеческой деятельности и на железнодорожном транспорте не требует доказательств [1–4] (рис. 1). Несмотря на множество положительных качеств, БПЛА свойственен один существенный недостаток — ограниченность емкости используемых бортовых аккумуляторных батарей (БАБ), что влияет на продолжительность непрерывного полета. Решение этой проблемы посредством увеличения емкости БАБ не всегда приемлемо, так как приводит к ухудшению массогабаритных показателей летательного аппарата, а его пе-

риодический возврат на базу для подзарядки негативно сказывается на качестве мониторинга и безопасности движения.

На кафедре электротехники и теплоэнергетики ПГУПС с 2020 г. ведутся работы по созданию БПЛА и БПЛК, позволяющих в значительной мере решить указанную проблему. Можно выделить следующие основные направления разработок: модификация конструкции БПЛА с использованием нетрадиционных решений подзарядки БАБ во время мониторинга; модификация наземной части БПЛК; создание специальных летательных аппаратов.

Оригинальные решения подзарядки аккумуляторной батареи беспилотных электрических летательных аппаратов во время мониторинга

Для мониторинга состояния контактной сети и путевого полотна разработан базовый прототип БПЛК (состоит из БПЛА и наземного мобильного пульта контроля и управления), у которого подзаряд БАБ во время полета аппарата осуществляется за счет энергии электромагнитного поля, созданного тяговым током, протекающим по контактному проводу, и преобразования энергии солнечной инсоляции в электрическую энергию с помощью бортовой солнечной панели [5–7].

В центре БПЛА (в данном случае — квадрокоптера) расположен несущий каркас 1 (рис. 2), к боковой поверхности которого жестко прикреплены своими концами штанги 2. На других концах штанг расположены электродвигатели 3 с воздушными винтами. На нижней поверхности несущего каркаса 1 (рис. 3) находится шасси 2, на которой



Рис. 1. Использование беспилотного электрического летательного аппарата на железнодорожном транспорте

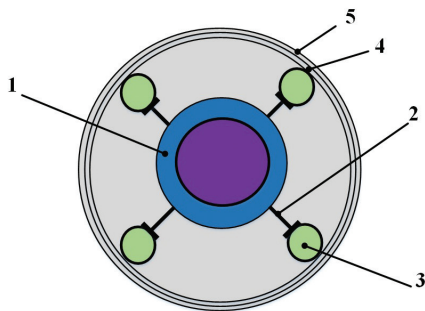


Рис. 2. Квадрокоптер (вид сверху)

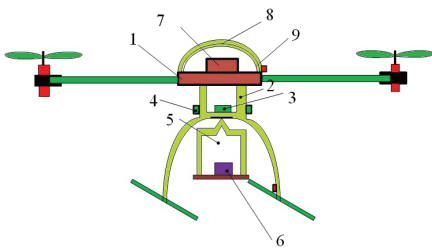


Рис. 3. Квадрокоптер (вид сбоку)

установлена силовая бортовая аккумуляторная батарея 3. Электродвигатели через регулятор оборотов 4 запитываются от силовой БАБ.

В центре нижней поверхности несущего каркаса 1 шарнирно прикреплен поворотного-наклонный гиростабилизированный подвес 5, на котором установлено устройство видеонаблюдения 6, чей выход соединен со входом маршрутного вычислительного устройства (МВУ) бортовой системы обеспечения полета 7, находящейся на верхней поверхности несущего каркаса 1 и прикрытой защитной пластиной 8.

Маршрутное вычислительное устройство 1 (рис. 4) изготовлено на базе микропроцессора, буферных регистров, запоминающих устройств и интерфейсных схем. К девяти измерительным входам МВУ подключены: блок приема и обработки сигналов спутниковой навигации 2; инерциальное измерительное устройство 3, включающее акселерометр типа XL335B; магнитометр и барометр; трекер 4 типа RF-V16; устройство аварийной посадки 5; блок управления поворотного-наклонного гиростабилизированным подвесом 6; сонар 7; устройство видеонаблюдения 8, которое может работать в видимом и инфракрасном спектре; приемно-передающая радиосистема 9 и передатчик видеоданных 10.

Через измерительный вход 11 поступает информация о внешнем электромагнитном поле. К силовому входу 12 бортовой системы обеспечения полета 13 подсоединена батарея питания 14. Мобильный пульт контроля и управле-

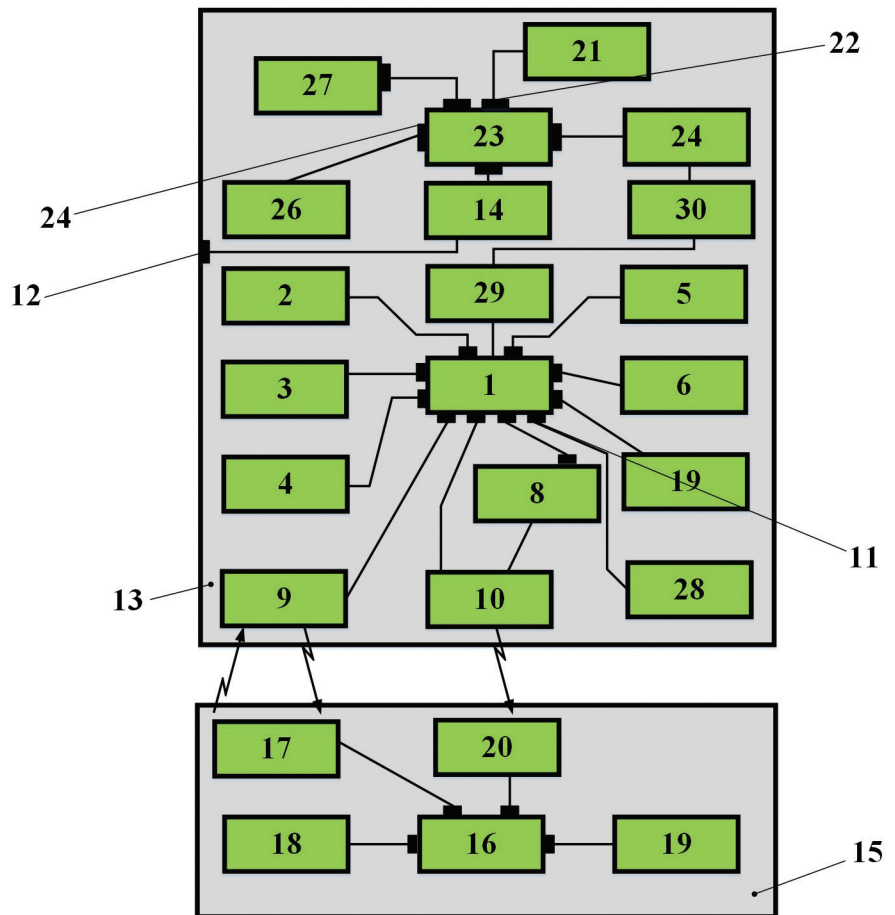


Рис. 4. Блок-схема комплекса

ния 15 включает персональный компьютер 16, к его трем выходам подключены: приемно-передающая радиосистема 17, специализированный пульт управления 18 БПЛА и мобильное индивидуальное устройство отображения видеоданных 19. Вход персонального компьютера соединен с приемником видеоданных 20.

К корпусам (рис. 2) электродвигателей 3 прикреплено габаритное кольцо 4, на внешней поверхности которого размещена кольцевая электрическая обмотка 5. На рис. 4 эта деталь обозначена позицией 21. Она подключена к первому силовому входу 22 устройства управления зарядом батарей 23, а его выходы соединены с батареей питания 14 бортовой системы обеспечения полета 13 и бортовыми аккумуляторными батареями 24. Индикаторный вход 25 устройства управления зарядом батарей 23 связан с индикатором уровня заряда аккумуляторных батарей 26.

Солнечная панель 27, расположенная на верхней поверхности защитной верхней пластины, соединена с устройством управления зарядом батарей 23. Шасси БПЛА несет датчик напряженности электромагнитного поля 28 типа EPIC или PaЭ 8/00-15, соединенный с изме-

рительным входом 11 маршрутного вычислительного устройства 1.

Предполагаются ручной и автономный рабочие режимы БПЛА. В первом режиме МВУ 1 выполняет следующие функции: подает управляющий сигнал на электродвигатели 29 и на основе сигналов инерциального измерительного устройства 3 обеспечивает горизонтальное положение летательного аппарата. По сигналам с блока приема и обработки сигналов спутниковой навигации 2 определяет текущие координаты БПЛА и передает их на мобильный пульт контроля и управления 15.

При получении ответных сигналов телеметрии с пульта 15 маршрутное вычислительное устройство 1 генерирует управляющие сигналы первого типа, поступающие на электродвигатели 29, которые под действием регуляторов оборотов 30 изменяют частоты вращения воздушных винтов и БПЛА меняет курс и высоту полета. Также изменяет свою ориентацию устройство видеонаблюдения 8 в соответствии с управляющими сигналами второго типа, приходящими с МВУ 1 на блок управления поворотного-наклонного гиростабилизированного подвеса 6.

В автономном режиме маршрутное вычислительное устройство 1 функционирует по заложенной программе и на основании координат спутниковой навигационной системы GPS/ГЛОНАСС обеспечивает выполнение полетного задания с последующим возвращением на базу.

В обоих режимах проводится визуальный контроль за полетом по сигналам видеоданных с устройства видеонаблюдения 8, которые поступают через передатчик 10 и приемник видеоданных 20 пункта 15 на монитор компьютера.

В процессе полета трекером 4 ведется периодическая запись координат движения БПЛА, которая подается на МВУ. При необходимости продолжить полет при значительном разряде БАБ 24 и батареи питания 14 БПЛА сближается с проводами контактной сети, местоположение которой определяется оператором визуально, если полет выполняется в ручном режиме либо его координаты заложены в программе МВУ.

Беспилотный электрический летательный аппарат зависает (в случае контактной сети переменного тока) или продолжает полет по определенной траектории относительно контактного провода. В результате этого электромагнитное поле тягового тока индуцирует в обмотке 5 (рис. 2) электродвижущую силу (ЭДС). Под ее действием в цепях, в которых подключены батарея питания 14 (рис. 4) и БАБ 24, начинают протекать зарядные токи. При достижении 100 % заряда батарей, что регистрируется индикатором 26, устройство управления зарядом 23 отключает обмотку 21, и заряд прекращается. Обмотка 5 (рис. 2) может располагаться ниже воздушных винтов, тогда заряд батарей осуществляется в основном от электромагнитного поля тока несущего троса. Когда же она расположена выше винтов, используется поле тока, протекающего по контактному проводу (при этом БПЛА находится снизу провода).

Как показало математическое моделирование с использованием программы COMSOL Multyphysics, выполненное для случая использования для мониторинга контактной сети 27,5 кВ квадрокоптера типа Phantom 4 Pro+V2.0 с бортовой аккумуляторной батареей Intelligent Flight Battery, величина ЭДС, наведенная в обмотке 5, составила 49,1 В. Это вполне приемлемо для подзаряда батареи. При моделировании принимались следующие условия: продольная ось контактного провода и траектория полета БПЛА — прямолинейные; действующее значе-

ние тока в контактном проводе — 300 А; расстояние от продольной оси контактного провода до траектории полета — 1 м; диаметр обмотки — 0,8 м; скорость полета — 2 м/с.

В светлое время суток лучи света падают на солнечную панель 9 (рис. 3), которая начинает в результате фотовольтаического эффекта вырабатывать ток, используемый для подзаряда батарей.

Для увеличения эффективности зарядки бортовых аккумуляторных батарей в конструкцию описанного базового прототипа было внесено изменение (рис. 5). Оно заключается в том, что к нижним торцам электродвигателей 1 жестко прикреплялись электрогенераторы 2 с постоянными магнитами возбуждения, имеющие на нижних концах своих валов дополнительные нижние воздушные винты 3. Это решение приводит к тому, что во время полета БПЛА воздушные потоки от вращающихся основных винтов 4 приводят во вращение винты 3 электрических генераторов 2, которые начинают генерировать электрический ток, используемый для заряда батарей [8]. При этом взлетная масса аппарата увеличилась не более чем на 7 %.

Возникновение некоторого тормозного момента, обусловленного работой электрических генераторов, можно рассматривать как определенную плату за возможность получения зарядного тока при отсутствии внешнего электромагнитного поля.

Анализ графиков суточной работы контактной сети различных электрифицированных железных дорог показал, что существует вероятность ситуации, когда конкретный участок сети не запитан в темное время суток. В связи с этим разработана модификация базового прототипа БПЛА, предназначенная для работы в таких условиях (рис. 6). Вал электродвигателей 1 выполнен в виде двух коаксиальных цилиндров [9]. На полом внешнем цилиндре 2 закреплены воздушные лопасти 3, на которых расположены электрические обмотки 4, которые гальванически связаны с зарядным устройством, соединенным с БАБ. Гальваническая связь реализуется следующим образом: выводы обмотки 4 соединены с контактными кольцами 5, жестко закрепленными на полом внешнего цилиндра 2, по которым скользят электрические щетки 6, соединенные с подзаряжающим устройством.

Внутри полого внешнего цилиндра 2 расположен соосно с ним внутренний

цилиндр 7. Они присоединены к электродвигателю 1 с помощью трансмиссии 8. На внутреннем цилиндре 7 жестко закреплены дополнительные лопасти 9, на которых установлены постоянные магниты 10, например, гибкие и жесткие полимерные магниты на основе бариевого или стронциевого ферритов, сплавов на основе редкоземельных элементов (неодим-железо-бор, самарий-кобальт, самарий-железо с использованием термoplastов и эластомеров).

Как и в базовом прототипе, при вращении БПЛА или полете вдоль контактного провода во вращающихся лопастных обмотках 4 индуцируется ЭДС, под действием которой происходит заряд БАБ. Одновременно с этим в результате вращения цилиндров в противоположных направлениях (из-за действия трансмиссии 8) магнитное поле постоянных магнитов 10 индуцирует в обмотках 4 дополнительную ЭДС, которая позволяет получить (увеличить) зарядный ток БАБ.

Как и в предыдущей конструкции, наблюдается появление некоторого тормозного момента, связанного с процессом генерации электроэнергии в обмотках 4, что можно оправдать потребностью подзаряда БАБ в описанных условиях эксплуатации БПЛА.

Опыт использования БПЛА в условиях повышенной солнечной инсоляции (Сирия, Крым, Кавказ) показал, что температура корпуса, а в нашем случае бортовой солнечной панели, может превышать в светлое время суток 70 °С. Известно, что для солнечных кремниевых панелей оптимальным значением температуры является 25 °С. При превышении этого порога их эффективность снижается. В связи с этим разработан новый вариант БПЛА, в котором эффективность работы солнечной панели поддерживалась на требуемом уровне за счет более интенсивного охлаждения воздушными потоками, созданными воздушными винтами электродвигателей (рис. 7). Для этого по центру солнечной панели 1 выполнен проем, через который и центральное отверстие в защитной верхней пластине 2 проходит вал 3 несущего винта 4 основного электродвигателя 5. Данный винт обеспечивает основную часть подъемной силы, воздушные винты 6 служат в основном для выполнения маневров.

Охлаждение солнечной панели 1 в данном случае осуществляется не только воздушными потоками, возбужденными вращающимися воздушными

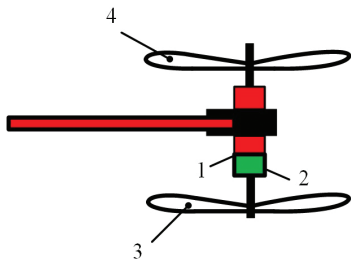


Рис. 5. Электродвигатель с электрогенератором

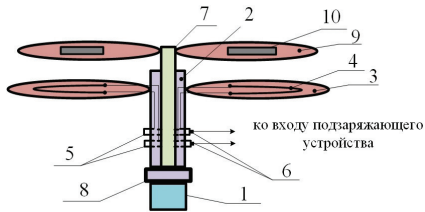


Рис. 6. Схема расположения лопастей на валах

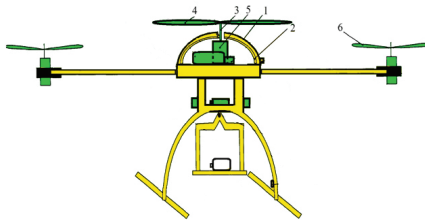


Рис. 7. Беспилотный электрический летательный аппарат с центральным несущим винтом

винтами 6, но и потоком несущего винта 4, расположенного непосредственно над солнечной панелью 1, что приводит к увеличению интенсивности ее охлаждения. В результате температура приближается к оптимальному значению.

Для мониторинга железнодорожных магистралей, проходящих по побережью крупных водоемов (Байкал, побережье Кавказа), по протяженным мостам (Крымский мост), предназначен БПЛА, центральная часть которого показана на рис. 8 [10].

Аппарат сконструирован на центральной платформе 1, к боковой поверхности которой своими концами жестко прикреплены радиальные стержни (на рисунке не показаны), на других концах которых закреплены, как и в базовом прототипе, электродвигатели с воздушными винтами. Диаметрально расположенные электродвигатели имеют встречное направление вращения. Электродвигатели вместе с воздушными винтами располагаются внутри одинаковых жестко закрепленных на радиальных стержнях и между собой колец, внутренняя поверхность которых имеет аэродинамический профиль.

Электродвигатели запитываются от БАБ 2 (LiPo 4S1300 mAh или 1500 mAh).

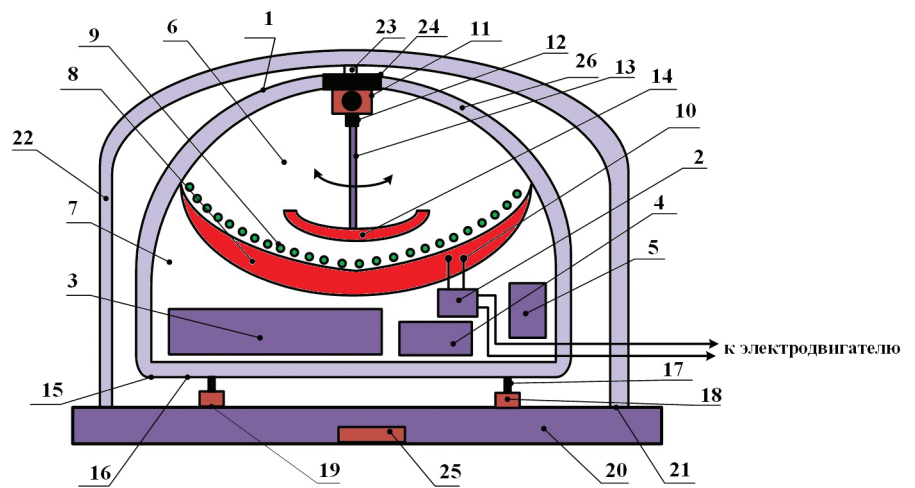


Рис. 8. Центральная платформа беспилотного электрического летательного аппарата с использованием энергии волн

Полетом управляет маршрутная вычислительная система 3, состоящая из полетного контроллера и контроллеров электродвигателей, системы видеонаблюдения 4 и приемника GPS навигации 5.

Центральная платформа выполнена из двух герметичных отсеков 6 и 7, ферромагнитная переборка 8 между которыми имеет форму кривой поверхности шарового сегмента. На внутренней поверхности переборки жестко закреплена распределенная электрическая обмотка 9, выводы 10 которой соединены с БАБ 2 (рис. 9).

На вершине полусферического верхнего отсека 6 (рис. 8) закреплен сферический шарнир 11, к пальцу 12 которого жестко прикреплен штырь 13 с постоянным магнитом 14 тарельчатой формы на другом конце. Длина штыря выбирается такой, чтобы в состоянии полета БПЛА постоянный магнит 14 касался поверхности переборки 8. Поскольку она выполнена из ферромагнитного материала, между ней и постоянным магнитом возникает сила притяжения, которая фик-

сирует положение магнита. Тем самым во время маневров БПЛА не нарушается его центровка.

К внешней поверхности 15 основания 16 нижнего отсека 7 жестко прикреплены штоки 17 амортизаторов 18, нижние торцы 19 которых расположены на поплавке 20. К периферийной части верхней поверхности 21 поплавка прикреплена дуга 22. В ее средней точке закреплен конец штока 23, проходящего через отверстие в верхней части корпуса верхнего отсека 6. В отверстии установлено манжетное уплотнение 24. Противоположный конец штока 23 зафиксирован на внешней поверхности сферического шарнира 11. На нижней поверхности поплавка 20 находится датчик касания поверхности воды 25 емкостного типа, соединенный с маршрутной вычислительной системой 3. Режимы взлета и полета осуществляются так же, как и для базового прототипа.

Когда БАБ 2 разряжается ниже определенного уровня, БПЛА совершает посадку на водную поверхность, где удерживается с помощью поплавка 20. Под действием силы тяжести центральной платформы 1 штоки 17 входят во внутренние полости амортизаторов 18. Одновременно с этим корпус 26 центральной платформы 1 смещается вниз относительно верхней части дуги 22. Из-за жесткого соединения дуги 22, штока 23, сферического шарнира 11, штыря 13 и постоянного магнита 14 последний приподнимается над распределенной электрической обмоткой 9 и под действием волнения водной поверхности начинает совершать колебательные движения относительно обмотки 9. Движущееся магнитное поле

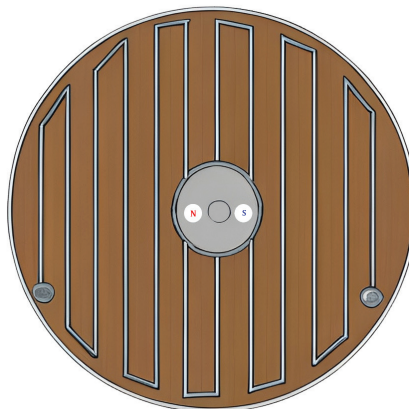


Рис. 9. Схема обмотки

постоянного магнита 14 индуцирует ЭДС в обмотке 9. В результате в цепи, состоящей из обмотки 9 и БАБ 2, начинает протекать зарядный ток.

Модификация наземной части беспилотного электрического летательного комплекса

Эффективность бесконтактной подзарядки БАБ в базовом прототипе зависит от величины индуцированной ЭДС в бортовой обмотке, на которую значительно влияет удаленность последней от источника внешнего электромагнитного поля (контактного провода с током). Однако максимальное сближение БПЛА с контактным проводом не всегда безопасно и возможно. Учитывая этот факт, выдвинута идея осуществлять заряд БАБ в определенном месте — в области стойки опоры контактной сети. При этом передача электрической энергии на борт БПЛА от контактной сети может осуществляться как индукционным, так и кондукционным способом.

В первом случае сильное электромагнитное поле создается во внутреннем проходе 1 (рис. 10) каркасной катушки 2 с обмоткой 3 [11]. Его величина определяется числом витков обмотки, которая запитывается от контактной сети. Процесс заряда БАБ предполагает зависание БПЛА во внутреннем проходе катушки (расположена вертикально) либо его неоднократный пролет через внутренний проход в случае контактной сети постоянного тока.

Наиболее рационально размещать такие катушки с помощью проходных изоляторов 4 (типа ОСК 3–10–2 УХЛ1 или ИОСК 3/35 УХЛ1 или ИОСК 3/35–В УХЛ1) на верхушках стоек опор контактной сети. Выводы обмотки катушки через токоведущие стержни 5 проходных изоляторов присоединяются к контактному проводу и рельсу.

Индукционный способ передачи электрической энергии с контактной сети на БПЛА применяется и в БПЛК, показанном на рис. 11 и 12¹.

На рис. 11 представлена прямоугольная изометрическая проекция летательного аппарата. Силовая часть БПЛА и ее компоновка (в том числе и устройство индукционного отбора энергии электромагнитного поля тягового тока — бортовая кольцевая

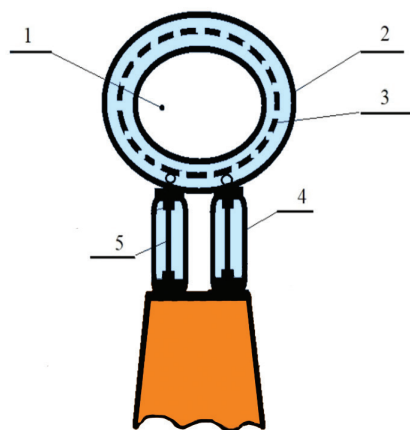


Рис. 10. Зарядная катушка на вершине стойки опоры

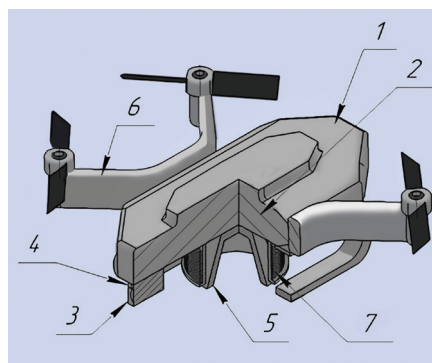


Рис. 11. Летательный аппарат

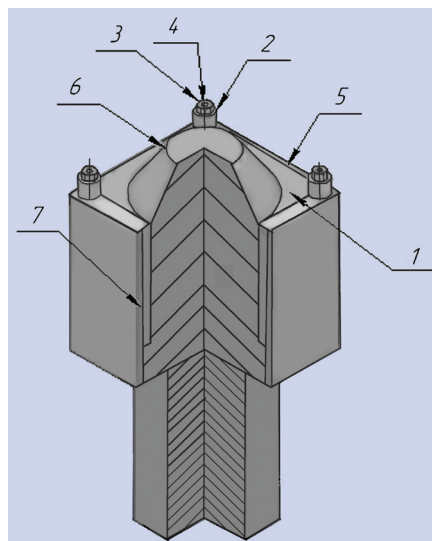


Рис. 12. Посадочно-зарядное устройство

электрическая обмотка) такие же, как и у базового прототипа.

Внутри корпуса 1 размещен блок электронного управления полета 2, который состоит из инерциальной системы управления (включающей гироскопы и акселерометры) и системы наведения (включающей приемник глобальных навигационных спутниковых систем, один ультразвуковой датчик навигации и микрокомпьютер). Снаружи корпуса 1 закреплены видекамера 3 (например,

Run Cam Swift 2, FPV Run Cam Phoenix 2 или BETA FPV Cetus Pro), лазерный дальномер 4 и ферромагнитный якорь 5, выполненный в форме полого усеченного конуса.

На рис. 12 показано посадочно-зарядное устройство БПЛК, которое размещается на стойке опоры контактной сети. По углам горизонтальной площадки 1 установлены центрирующие штифты 2, в двух из них расположено по одному ультразвуковому датчику 3. Еще один ультразвуковой датчик несет на себе БПЛА. Ультразвуковые датчики служат для формирования локальной системы координат, в которую также входят световые метки 4 (светоотражающие фликеры из катафотной ткани), расположенные на центрирующих штифтах. Для подсветки световых меток в темное время суток по периметру посадочной площадки расположены светодиодные ленты 5.

На посадочной площадке 1 жестко закреплена улавливающая конусообразная ферромагнитная направляющая 6. В пазах ее боковой поверхности расположена распределенная зарядная обмотка 7. Ее выводы через контактор (управляется блоком контроля заряда) подключены к преобразователю частоты, который запитывается от внешней сети.

При разряде БАБ на блок электронного управления 2 (рис. 11) с наземной станции поступает информация о ближайшем свободном посадочно-зарядном устройстве, и на БПЛА подается команда на посадку. По управляющим сигналам блока электронного управления полета 2 аппарат выполняет подлет к посадочно-зарядному устройству. В непосредственной близости от места посадки по сигналу приемника глобальных навигационных спутниковых систем (GPS/ГЛОНАСС) включаются ультразвуковые датчики навигации 3 (рис. 12). Далее используется видекамера 3 (рис. 11), которая отслеживает положения меток 4 (рис. 12), подсвеченных светодиодными лентами 5. При этом с помощью лазерного дальномера 4 (рис. 11) постоянно измеряются расстояния до центрирующих штифтов 2 (рис. 12).

Маневрирование продолжается до тех пор, пока БПЛА не зависнет над улавливающей ферромагнитной направляющей 6. Тогда по команде оператора он начинает спускаться на посадочно-зарядное устройство и ферромагнитный полый усеченный конус якоря 5 (рис. 11) насаживается на улавливающую ферромагнитную направ-

¹ Разработка данной конструкции проводилась при участии аспиранта кафедры электротехники и теплоэнергетики Д. Я. Монастырского и студентов А. С. Соловьева и М. В. Михайлова.

ляющую 3 (рис. 12). Окончательное позиционирование и фиксация БПЛА на посадочно-зарядном устройстве завершается с помощью центрирующих штифтов 2.

Сигнал о завершении посадки поступает на блок управления полетом 2 (рис. 11), электрические двигатели 6 выключаются. Модуль контроля заряда подает команду, под действием которой зарядная обмотка 7 (рис. 12) подключается через преобразователь частоты к внешней цепи. Одновременно с этим на БПЛА устройство управления зарядом генерирует сигнал на подключение электрической обмотки 7 (рис. 11) к БАБ. Ток, протекающий по обмотке 7 (рис. 12), создает переменное электромагнитное поле, которое при взаимодействии с электрической обмоткой 7 (рис. 11) БПЛА индуцирует в последней ЭДС. В цепи заряда БАБ начинает протекать ток.

Следует отметить, что ферромагнитные направляющая и якорь после завершения операции посадки образуют единый ферромагнитный сердечник, поэтому выполняют не только центрирующую функцию, но и уменьшают потери на рассеивание электромагнитного поля, созданного током в обмотке 7 (рис. 12). Завершение заряда БАБ регистрируется индикатором уровня заряда, который входит в состав блока управления полета 2 (рис. 11). Блок управления полета генерирует поступающий на устройство управления зарядом сигнал на отключение электрической обмотки 7 и заряд БАБ завершается.

Как отмечалось, передача электрической энергии на борт БПЛА от контактной сети может осуществляться также и вторым способом — кондукционным.

Зачастую отсутствует потребность в непрерывных пролетах БПЛА вдоль контактной сети. Особенно это касается мониторинга малодеятельных участков железных дорог. Для таких случаев разработан БПЛК, состоящий из летательного аппарата и определенного количества посадочно-зарядных боксов 1, установленных с помощью проходных изоляторов 2 на стойках опор контактной сети 3 (рис. 13). Корпус бокса 1 со сферическим куполом опирается на плоское днище коробчатого типа 4, нижняя крышка которого с помощью проходных изоляторов установлена на стойке опоры контактной сети.

Корпус бокса (рис. 14) состоит из двух полых полуцилиндров: внешнего 1 и вну-

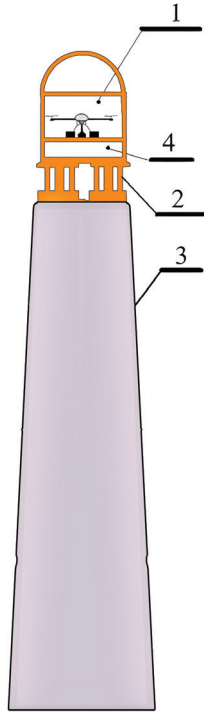


Рис. 13. Стойка опоры с боксом

треннего 2. Нижняя кромка внешнего полуцилиндра 1 прикреплена к краю верхней крышки днища 3, на которой также жестко закреплена круговая направляющая 4 подвижного соединения внутреннего полуцилиндра 2. Подвижные каретки 5 направляющей 4 расположены на нижней кромке внутреннего полуцилиндра 2. Во внутренней полости днища 3 установлен реверсивный поворотный электродвигатель, вал 6 которого проходит через отверстие в верхней крышке днища 3. Конец вала заканчивается обрезиненным колесом 7, находящимся в механическом контакте с боковой поверхностью внутреннего цилиндра 2.

Электродвигатель запитывается от преобразователя, например, тип Emas MK1MIM2, IEK KB-8168 или Emas 440B, 10A. MN2MIM2, который располагается внутри днища 3. На силовой вход пре-

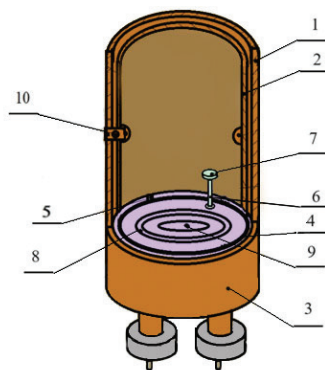


Рис. 14. Посадочно-зарядный бокс со снятым сферическим куполом

образователя через токоведущие стержни проходных изоляторов подается напряжение с контактной сети или от резервной аккумуляторной батареи. Выбор источника напряжения делается с помощью переключающего устройства, которое через блок контроля уровня заряда соединено с кольцеобразным 8 и круговым 9 электродами, закрепленными на верхней крышке днища 3.

Управление преобразователем осуществляется микроконтроллером, к информационным входам которого подключены индуктивный датчик открытого и закрытого состояния бокса, датчик присутствия БПЛА в боксе и приемник радиосигналов. По радиосигналу с пульта управления аппарата, на нижней части которого расположены контактные электроды, подлетает к боксу. Радиосигнал также приходит на приемник радиосигналов бокса, а затем на микроконтроллер, который генерирует сигнал, поступающий на преобразователь, и последний подает напряжение питания прямой полярности на реверсивный поворотный электродвигатель. Вал 6 вместе с колесом 7 начинает вращаться, в результате чего внутренний полуцилиндр 2 осуществляет движение по круговой направляющей 4 до момента срабатывания индуктивного датчика 10, который подает на микроконтроллер сигнал о прекращении питания реверсивного поворотного электродвигателя. Бокс открыт.

Беспилотный электрический летательный аппарат влетает внутрь бокса и производит посадку на верхнюю крышку днища 3. В конце посадки срабатывает датчик присутствия 11, сигнал с которого поступает на микроконтроллер. Генерируемый микроконтроллером сигнал поступает в преобразователь, начинается подача напряжения питания обратной полярности на реверсивный поворотный электрический двигатель, и внутренний полуцилиндр 2 начинает обратное движение. Срабатывает индуктивный датчик 10, сигнал с которого приходит на микроконтроллер. Он подает сигнал на прекращение электропитания реверсивного поворотного электродвигателя. Бокс закрыт.

Одновременно с этим осуществляется электрический контакт электродов БПЛА с кольцеобразным и круговым электродами днища. Начинается заряд БАБ кондукционным способом. Его завершение реализуется с помощью блока контроля уровня заряда.

Чтобы возобновить мониторинг, с пульта управления подается радиосиг-

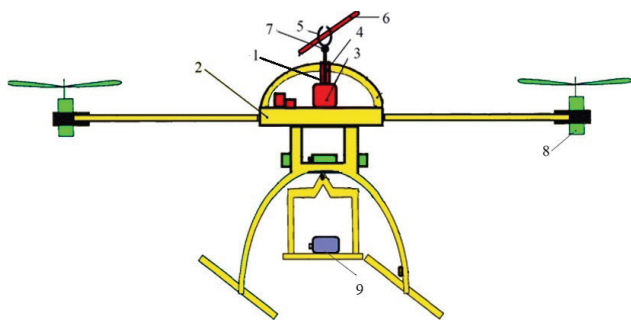


Рис. 15. Беспилотный электрический летательный аппарат с клещевидным манипулятором

нал, под действием которого инициируется открытие бокса с последующим вылетом БПЛА. Затем срабатывает датчик присутствия 11, сигнал с которого приводит в обратное движение внутренний полуцилиндр, — начинается операция закрытия бокса.

Следует отметить, что использование посадочно-зарядных боксов позволяет также предохранять летательный аппарат от воздействия неблагоприятных природных условий: дождя, снега и сильных порывов ветра, а также повысить оперативность работы БПЛА из-за отсутствия необходимости его возвращения на базу после завершения выполнения полетного задания.

Специальные беспилотные электрические летательные аппараты

При прогнозировании неблагоприятных погодных условий, таких как порывы ветра, снегопад и дождь, воздушный мониторинг прекращается, и БПЛА заблаговременно возвращается на базу или в посадочно-зарядный бокс. В это время мониторинг не ведется, что сказывается на безопасности движения. Для работы в таких условиях разработана конструкция БПЛА, приведенная на рис. 15.

Основное отличие от базового прототипа — это наличие телескопического клещевидного манипулятора 1, установленного на несущем каркасе 2 БПЛА. Манипулятор состоит из электропривода 3 телескопической штанги 4, на одном конце которой установлены захваты 5, с помощью которых осуществляется механический захват объекта посадки 6.

Электропривод 3 через контактор запитывается от БАБ. Работой контактора управляет маршрутное вычислительное устройство. В месте прикрепления захватов 5 к телескопической штанге 4 расположен датчик 7, соеди-

ненный с МВУ. Чтобы прервать полет, с наземной диспетчерской станции приходит сигнал на маршрутное вычислительное устройство аппарата, которое генерирует команды для электродвигателей 8 и устройства видеонаблюдения 9. В результате начинается поиск и сближение с близлежащим объектом для посадки 6 (например, траверсы опоры или ветви дерева), к которому БПЛА подлетает снизу. Телескопическая штанга 4 манипулятора 1 удлиняется, и с помощью захватов 5 осуществляется механическая фиксация БПЛА на объекте посадки. При этом срабатывает датчик 7, по сигналу которого останавливается вращение воздушных винтов электродвигателей.

Возобновление выполнения полетного задания осуществляется с помощью сигнала с наземной диспетчерской станции, под действием которого запускаются электродвигатели и размыкаются захваты манипулятора.

Помимо этого, нападения на легкие БПЛА крупных птиц в их брачный и гнездовой периоды побудили к созданию очередной версии БПЛА повышенной живучести (рис. 16).

Электродвигатели 1 с воздушными винтами 2 жестко закреплены внутри одинаковых конусов 3, внутренняя поверхность которых имеет аэродинамический профиль. Они в свою очередь закреплены на радиальных стержнях 4 центральной платформы 5 и между собой.

На центральной платформе 5 находится электрошокерное устройство 6 (Удар-2У или Удар-Профи Парализатор). Первый выходной электрод 7 электрошокерного устройства соединен с нижним концом 8 вертикального стержня 9 с тарельчатым седлом 10. Вертикальный стержень 9 проходит через втулку 11 из электроизоляционного материала, например, фторопласта-4 или текстолита, установлен-

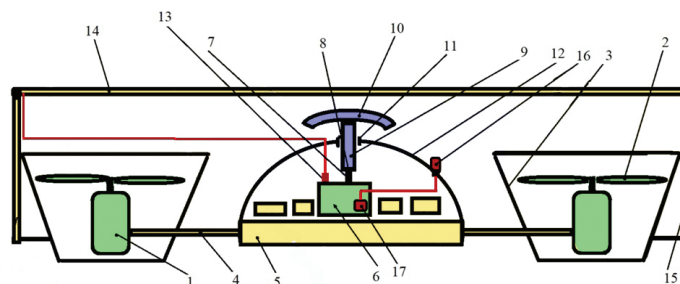


Рис. 16. Беспилотный электрический летательный аппарат с защитой от нападения птиц

ную в отверстии верхней крышки 12, выполненной из электропроводящего материала (меди или алюминиевого сплава), и жестко закрепленной сверху центральной платформы 5.

Второй выходной электрод 13 соединен с охранным кольцом 14, прикрепленным к верхним концам вертикальных стоек 15 из стеклотекстолита. Нижние концы этих стоек закреплены на боковых поверхностях колец 3. На верхней крышке 12 расположен датчик касания 16 (может располагаться на вертикальной штанге), который подключен к узлу пуска 17 электрошокерного устройства.

Во время нападения птицы на аппарат срабатывает датчик касания, сигнал с которого запускает электрошокерное устройство. Импульс тока по вертикальному стержню 9 с тарельчатым седлом 10 и через охранный стержень 14 поступает в тело птицы, вызывая у нее болевые ощущения. В дополнение к этому импульс тока сопровождается громким треском. В результате нападение прекращается.

Заключение

Продолжительность непрерывного полета беспилотного электрического летательного аппарата мультикоптерного типа возможно увеличить без изменения емкости бортовых аккумуляторных батарей, используя индукционный метод отбора энергии электромагнитного поля, созданного током, протекающим по контактному проводу.

Подзаряд бортовых аккумуляторных батарей может быть реализован с помощью солнечных панелей, установленных на БПЛА, причем оптимальный температурный режим для кремниевых солнечных панелей можно создать с помощью воздушных потоков, возбужденных вращающимися винтами.

Для сокращения пауз при проведении мониторинга, обусловленных необходи-

мостью возвращения летательных аппаратов на базу и временем возвращения к месту наблюдения, целесообразно использовать посадочно-зарядные устройства и боксы, установленные на стойках опор контактной сети. В этом случае используется энергия внешней сети, в том числе и контактной. Для увеличения времени полета БПЛА, проводящего мониторинг железных дорог, проходящих по побережью крупных водоемов, возможно использовать аппараты с позарядом бортовых аккумуляторных батарей от энергии волнения водной поверхности.

Использование электрошокерного устройства, установленного на легкий беспилотный летательный аппарат, позволит избежать негативных последствий, связанных с нападением на него крупных птиц¹.

¹ Исследования беспилотных электрических летательных аппаратов мультикоптерного типа, предназначенных для мониторинга состояния объектов инфраструктуры электрифицированного железнодорожного транспорта, выполнялись в рамках научного проекта № 24-29-00159 гранта, предоставленного Российским научным фондом на 2024–2025 гг. по результатам конкурса 2023 г. «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами».

Источники

1. Ким К. К., Панычев А. Ю. Инновационные электротехнические разработки для транспортной отрасли Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I // Бюллетень результатов научных исследований. 2021. № 4. С. 966–970.
2. Ефанов Д. В., Погодина Т. С. Применение беспилотных летательных аппаратов для сбора диагностических данных о напольных устройствах СЦБ // Транспорт Российской Федерации. 2024. № 5. С. 16–25.
3. Валинский О. С., Ким К. К. Разработки Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I в области нетрадиционной и возобновляемой энергетики // Транспорт Российской Федерации. 2024. № 2. С. 8–14.
4. Ким К. К. Системы электродвижения с использованием магнитного подвеса и сверхпроводимости: монография. М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2007. 360 с.
5. Антонов А. Ю., Ким К. К. Модель взаимодействия токоприемника с контактным проводом // Наука и техника транспорта. 2008. № 4. С. 9–12.
6. Иванов С. Н., Ким К. К., Приходченко О. В., Просолович А. А. Теоретические основы математического моделирования процессов преобразования мощности в совмещенных энергетических устройствах // Ученые записки КНАГТУ. 2020. № 1-1 (41). С. 37–44.
7. Евразийский патент № 042897. Беспилотный летательный комплекс / К. К. Ким. Дата выдачи 31.03.2023.
8. Патент № 2810956 Российская Федерация. Беспилотный летательный комплекс / Ким К. К., Панычев А. Ю., Блажко Л. С., Титова Т. С., Королева Е. Б. Заявл. 28.06.2023. Оpubл. 09.01.2024. 13 с.
9. Патент № 2791914 Российская Федерация. Беспилотный летательный аппарат для диагностики высоковольтных установок / Ким К. К., Панычев А. Ю. Заявл. 08.11.2022. Оpubл. 14.03.2023. 10 с.
10. Патент № 2801404 Российская Федерация. Беспилотный летательный комплекс / Ким К. К., Панычев А. Ю. Заявл. 01.02.2023. Оpubл. 08.08.2023. 10 с.
11. Патент № 2806649 Российская Федерация. Стойка опоры контактной сети / Ким К. К., Панычев А. Ю., Титова Т. С., Сацук Т. П., Королева Е. Б. Заявл. 27.04.2023. Оpubл. 02.11.2023. 7 с.



Общероссийская общественная организация РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

Академия включает
48 РЕГИОНАЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ

ДАТА ОСНОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ТРАНСПОРТА:

26 июня 1991 года



Президент Академии:
А.Т.Н.
АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ МИШАРИН

СОСТАВ АКАДЕМИИ В 2023 ГОДУ

> 680 УЧЕНЫХ-ТРАНСПОРТНИКОВ:

170 ДОКТОРОВ НАУК

510 КАНДИДАТОВ НАУК

260 ПОЧЕТНЫХ ЧЛЕНОВ РАТ

