

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕЗЭКИПАЖНОГО КАТЕРА В КАЧЕСТВЕ НОСИТЕЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА

Г.Ю. Илларионов, В.А. Герасимов, А.Ю. Филоженко, С.С. Дмитриев

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА – квадрокоптеров вертолетного типа) с базированием на мобильной морской платформе в виде безэкипажного катера (БЭК) позволяет решать ряд новых задач как гражданского, так и двойного назначения. Одними из основных вопросов, сопровождающих такое техническое решение, является обеспечение удержания БПЛА на посадочной площадке катера и осуществление бесконтактной передачи электроэнергии с БЭК на БПЛА для заряда его аккумуляторных батарей (АКБ). В доступных источниках отсутствуют сведения о каких-либо результатах в указанной области, поэтому постановка задачи фиксации БПЛА на БЭК с зарядом его АКБ является актуальной с ясной перспективой практического применения. Для решения поставленной задачи разработана посадочная площадка БЭК, снабженная матрицей электромагнитов специального исполнения. Переключаемое взаимодействие между матрицей электромагнитов и посадочными элементами БПЛА позволило совместить в одном устройстве функции удержания БПЛА на посадочной площадке БЭК с бесконтактным зарядом его АКБ. Выполненные исследования позволили определить требования к энергетическим параметрам удерживающих электромагнитов для обеспечения фиксации БПЛА без смещения на посадочной площадке при заданных внешних воздействиях в виде определенной ветровой нагрузки, а также статического крена и различных видов качки на волнении. Разработанные методики экспериментальных исследований на макете посадочной площадки с БПЛА позволяют надеяться на достоверность результатов. Технические решения, положенные в основу реализации принятого способа базирования БПЛА на БЭК, защищены патентами РФ.

**Ключевые слова:** квадрокоптер, безэкипажный катер, посадочная площадка, матрица электромагнитов, фиксация квадрокоптера, бесконтактный заряд аккумуляторной батареи.

## Введение

Роль и место беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) вертолетного типа (мультикоптеров) на море определяется их способностью выполнять следующие задачи [1–9]:

- воздушную разведку – БПЛА обеспечивают воздушное наблюдение, минимизируя «слепые зоны» за пределами видимости корабельных радаров;
- ретрансляцию сигналов связи – БПЛА создают сети связи, объединяющие надводные корабли, самолёты и беспилотные летательные аппараты;
- патрулирование, мониторинг и разведку – БПЛА могут наблюдать за акваторией порта, акваторией во-круг кораблей и судов, отслеживать суда, которые реши-ли стать на якорь без разрешения;

- БПЛА помогают ловить браконьеров, которые охотятся на морских животных;
- выполнять наблюдение за морскими платфор-ми и буровыми вышками;
- обеспечивать инспекции танкеров – БПЛА ищут трещины, ржавчину, протечки и другие дефекты;
- осуществлять экстренную доставку особо важ-ных грузов;
- выполнение широкого круга задач гидрографи-ческих исследований.

В последнее время рассматривается вопрос о размещении БПЛА вертолетного типа на безэкипажных катерах (БЭК), где в основу принятых технических решений поставлена задача создания посадочной площадки на БЭК, которая была бы способна фиксировать БПЛА в момент его посадки на площадку

при наличии сильного ветра, всех видов качки судна на волнении, а также при наличии больших статических кренов и дифферентов. Это свойство достигается за счет создания сил удержания БПЛА при помощи включенных электромагнитов (ЭМ), равномерно распределенных по всей площади посадочной площадки. Перед взлетом БПЛА ЭМ посадочной площадки отключаются, и сила, удерживающая БПЛА, исчезает [10].

## 1. Посадочная площадка БПЛА

Сущность данного технического решения поясняется на рис. 1 и 2, где посадочная площадка 1 крепится при помощи стоек 4 к палубе БЭК. На посадочной площадке находится БПЛА 2, который имеет два поплавка 3 для посадки на воду. В нижней части каждого поплавка прикреплены рейки 5, изготовленные из ферромагнитного материала, которые контактируют с посадочной площадкой.

Сама посадочная площадка обладает свойством фиксировать БПЛА при его посадке на площадку при наличии бортовой, килевой и вертикальной качки, а также при наличии ветра, статических кренов и дифферентов БЭК за счет создания магнитной силы, притягивающей ферромагнитные рейки поплавков БПЛА, а также убирать эту магнитную силу при его взлете. Конструкция посадочной площадки БПЛА (рис. 2) представляет собой несущий каркас 2, сва-

ренный из стальных профилированных труб. К каркасу прикреплена несущая плоскость 3, выполненная из немагнитного материала, где установлены электромагниты 5. Сверху несущую плоскость 3 закрывает тонкий лист из немагнитного материала. Провода от каждого ЭМ входят в электрические соединительные коробки 4, туда же подводятся кабели питания 6. Конфигурация и размеры посадочных поплавков БПЛА рассчитаны таким образом, что в пределах плоскости посадочной площадки их ферромагнитные рейки соприкасаются как минимум с пятью включенными электромагнитами 5, что обеспечивает достаточную фиксацию БПЛА при его посадке на площадку [10, 11].

Посадочная площадка для БПЛА работает следующим образом: ток в цепи катушки каждого из ЭМ переменного тока (рис. 3) определяется из выражения:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}, \quad (1)$$

где  $U$  – напряжение, приложенное к катушке;  $R, X_L$  – активное и индуктивное сопротивления катушки соответственно, обычно  $R \ll X_L$ .

Индуктивное сопротивление катушки определяется из выражения:

$$X_L = \omega L, \quad (2)$$

где  $\omega$  – частота изменения тока в катушке;  $L$  – индуктивность катушки.

Индуктивность  $L$  катушки каждого ЭМ прямо пропорциональна квадрату числа витков  $W$  и обратно пропорциональна магнитному сопротивлению  $R_M$  для магнитного потока в катушке:

$$L = \frac{W^2}{R_M}. \quad (3)$$

Магнитное сопротивление магнитному потоку определяется из выражения:

$$R_M = \frac{D}{\mu S}, \quad (4)$$

где  $D$  – средняя длина силовой линии магнитного поля;  $\mu$  – абсолютная магнитная проницаемость магнитопровода;  $S$  – сечение магнитопровода.

Абсолютная магнитная проницаемость  $\mu$  для магнитных материалов имеет большое, а



Рис. 1. Размещение БПЛА на посадочной площадке БЭК:

1 – посадочная площадка; 2 – БПЛА; 3 – посадочные поплавки; 4 – стойки; 5 – ферромагнитные рейки

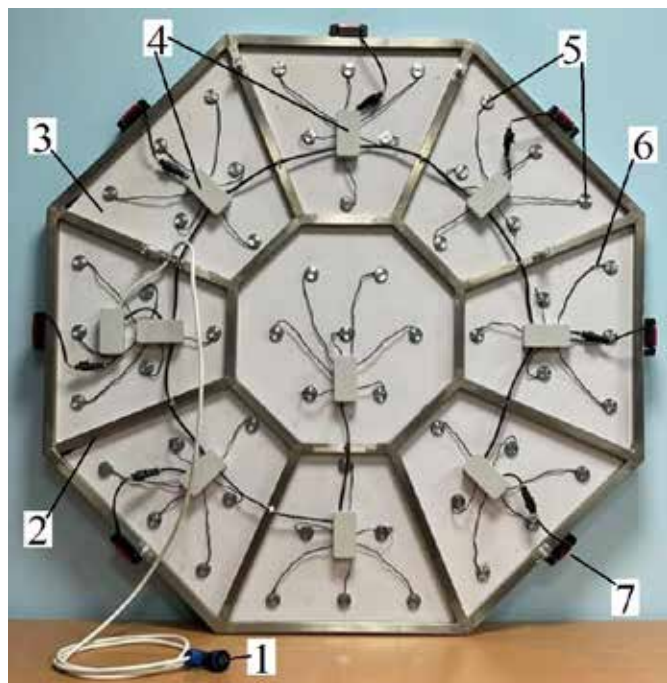


Рис. 2. Посадочная площадка квадрокоптера (вид с тыльной стороны):

1 – кабель питания с разъемом; 2 – каркас; 3 – полотно; 4 – соединительные коробки; 5 – электромагниты; 6 – кабели питания электромагнитов; 7 – сигнальный красный огонь

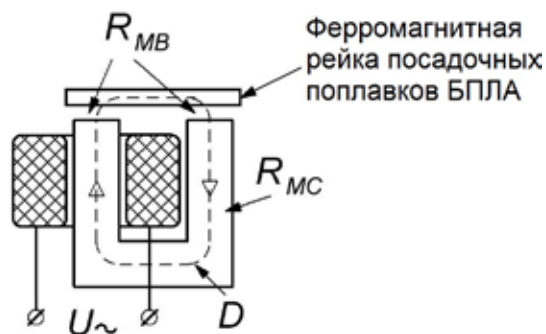


Рис. 3. Однофазный электромагнит на сердечнике с двумя зазорами:

$R_{MC}$ ,  $R_{MB}$  – магнитные сопротивления сердечника и немагнитного зазора соответственно

для немагнитных – малое, отличающееся на несколько порядков, значение. Соответственно магнитное сопротивление стали мало, а немагнитных материалов велико. Магнитопровод каждого ЭМ посадочной площадки состоит из стальных участков с малым магнитным сопротивлением  $R_{MC}$  и немагнитных участков (воздушные зазоры или иные немагнитные промежутки) с большим магнитным сопротивлением  $R_{MB}$ . Магнитное сопротивление магнитопровода определяется суммой всех участков, так как на пути магнитного потока они включены последовательно:

$$R_M = R_{MC} + R_{MB}.$$

Магнитное сопротивление стальной части магнитопровода  $R_{MC}$  постоянно, а второе слагаемое в выражении (5) может уменьшаться при перекрытии немагнитных участков некоторыми элементами с малым магнитным сопротивлением, например, ферромагнитной рейкой. В этом случае будет также уменьшаться суммарное магнитное сопротивление  $R_M$  магнитопровода ЭМ (выражение 4), увеличиваться индуктивность  $L$  катушки (выражение 3) и, соответственно, ее индуктивное сопротивление  $X_L$  (выражение 2), что приводит к уменьшению тока (выражение 1). В катушках ЭМ с непрерывным магнитопроводом ток останется сравнительно большим. Таким образом, имея распределенный по плоскости посадочной площадки набор из многих ЭМ с разомкнутыми магнитопроводами, все катушки которых подключены к питающей сети, и перекрывая немагнитные участки магнитопроводов отдельных ЭМ ферромагнитными деталями (т.е. ферромагнитными рейками посадочных поплавков БПЛА), возможно [10, 11]:

- во-первых, получать фиксацию ферромагнитных реек посадочных поплавков БПЛА за счет их притяжения к перекрытым ЭМ;
- во-вторых, идентифицировать перекрытые ЭМ путем регистрации уменьшения тока в их катушках.

При этом представляется возможность отключать неиспользуемые для фиксации ферромагнитных реек остальные ЭМ, в катушках которых за счет разомкнутого магнитопровода протекает повышенный ток. Это экономит электроэнергию на борту БЭК и уменьшает нагрев проводов катушек, что, в конечном итоге, повышает эффективность и надежность всего устройства. Электрическая схема посадочной площадки, обеспечивающей указанное функционирование, показана на рис. 4. Схема содержит шину питания ШП,  $N$  электромагнитов ЭМ-1 ... ЭМ- $N$ ,  $N$  датчиков ИПТ-1 ... ИПТ- $N$  тока катушек ЭМ,  $N$  ключей К-1 ... К- $N$  цепей питания ЭМ,  $N$  драйверов ДК-1 ... ДК- $N$  ключей, а также информационный канал ИК и вычислительное устройство ВУ. Все ЭМ распределены по плоскости посадочной площадки открытой частью магнитопровода наружу и образуют поле ЭМ, которое используется для фиксации ферромагнитных реек посадочных поплавков БПЛА в случае его сближения с указанным электромагнитным полем на заданное расстояние, достаточное для перекрытия как минимум пяти ЭМ. При этом минимальное число ЭМ, перекрываемых ферромагнитными рейками, определяется усилием, которое необходимо создавать для надежного удержания БПЛА при заданном расстоянии до торцевых плоскостей разомкнутых

участков магнитопроводов ЭМ. Каждый из  $N$  ЭМ через измерительный преобразователь тока (ИПТ) и через ключ  $K$  подсоединен к шине питания ШП. Выходы каждого из  $N$  измерительных преобразователей ИПТ тока через информационный канал ИК соединены с вычислительным устройством ВУ, а управляющие входы ключей  $K$  соединены с выходами драйверов ДК ключей, при этом входы каждого из  $N$  драйверов ДК посредством двунаправленной линии связи через информационный канал ИК соединены с вычислительным устройством ВУ [10, 11].

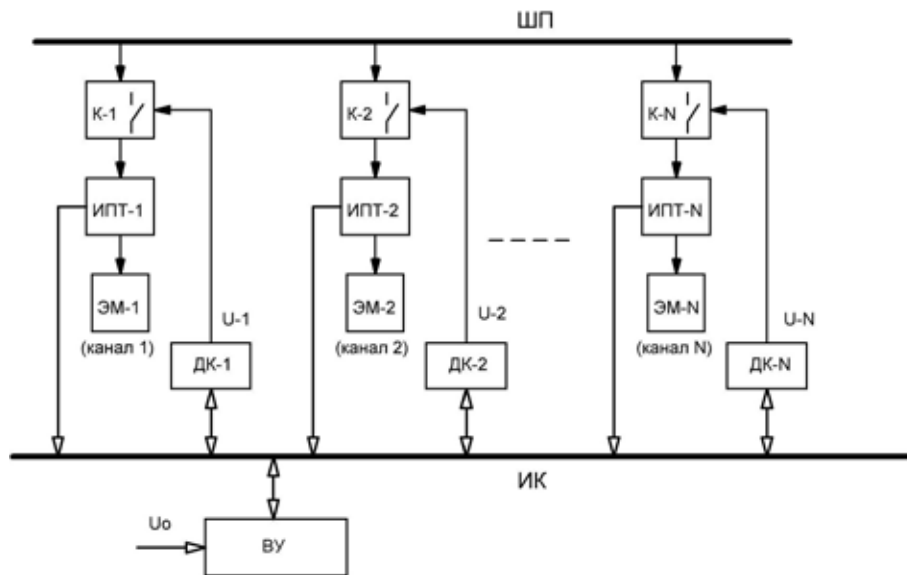


Рис. 4. Принципиальная схема электрооборудования посадочной площадки БЭК

Устройство работает следующим образом. В исходном положении ключи  $K-1 \dots K-N$  разомкнуты и ЭМ обесточены. Для приведения устройства в рабочее положение на вход вычислительного устройства ВУ подается управляющий сигнал  $U_0$ . При этом на выходе управляющего устройства ВУ формируется сигнал управления, который через информационный канал ИК, представляющий собой аппаратно-программный интерфейс связи, поступает на вход каждого из  $N$  драйверов ДК ключей  $K$ , что приводит к подключению катушек ЭМ к шине питания ШП. Значение тока в каждой из  $N$  катушек ЭМ с выхода соответствующего измерительного преобразователя тока ИПТ через информационный канал ИК поступает на вычислительное устройство. Если значения токов в каждой катушке равны и соответствует состоянию ЭМ с разомкнутым магнитопроводом, то устройство переходит в режим ожидания. При сближении ферромагнитных реек посадочных поплавков БПЛА с полем ЭМ на заданное расстояние, происходит перекрытие разомкнутых магнитопроводов у соответствующего количества ЭМ, что приводит к уменьшению тока в их катушках. Информация о значениях этих токов с выходов соответствующих датчиков тока ИПТ поступает на вычислительное устройство. При этом алгоритм работы вычислительного устройства ВУ обеспечивает через драйверы ключей ДК-1 ... ДК-N формирование управляющих сигналов  $U-1, U-2 \dots U-N$ , при которых ЭМ с уменьшенным током остаются подключенными к шине питания ШП, а все остальные ЭМ отключаются. Для освобождения зафиксированного БПЛА при его взлете с посадочной площадки достаточно подать на вход

вычислительного устройства ВУ соответствующий сигнал  $U_0$ , который осуществит отключение от шины питания всех катушек ЭМ. Для подтверждения выдвинутых положений рассчитаем силу сноса БПЛА с посадочной площадки БЭК ветровым потоком со скоростью 30 м/с. По формуле

$$R = S \cdot C_x \cdot \rho \cdot v^2 / 2,$$

где:  $R$  – сила сноса БПЛА, Н;  $S$  – площадь боковой проекции БПЛА,  $m^2$  (принимается равной  $0,05 m^2$ );  $C_x$  – коэффициент лобового сопротивления БПЛА (коэффициент сопротивления в соответствии с предложением А.М. Басина [12] рекомендуется применять в пределах  $0,5-0,6$ );  $\rho$  – плотность воздуха,  $kg/m^3$  (принимается равной  $1,27 kg/m^3$ );  $v$  – скорость ветра, м/с (принимается равной 30 м/с).

Подставив числовые значения в формулу, получаем силу сноса квадрокоптера  $R = 17,1$  Н. Каждый электромагнит (рис. 2) обладает силой притяжения, равной 50 Н, следовательно, на пяти электромагнитах БПЛА будет удерживаться с силой 250 Н, что значительно больше силы сноса даже при ураганном ветре со скоростью 30 м/с. При проектировании посадочной площадки БПЛА плотность расположения ЭМ по площади подбирается такой, чтобы обеспечивался контакт ферромагнитных реек как минимум с пятью ЭМ [10].

## 2. Посадочная площадка с функцией заряда аккумуляторной батареи БПЛА

В основу данного технического решения поставлена задача создать устройство для автоматической фиксации БПЛА на посадочной площадке БЭК с

функцией бесконтактной передачи электроэнергии для заряда аккумуляторной батареи БПЛА, обеспечивающее экономичный процесс ее заряда, а также энергетически эффективную и надежную фиксацию БПЛА. Поставленная задача достигается тем, что устройство для автоматической фиксации БПЛА (рис. 5) содержит посадочную площадку, где установлены: ЭМ, блок бесконтактного заряда АКБ, датчик приближения БПЛА к посадочной площадке и блок управления, имеющий выход, предназначенный для управления ЭМ. От предыдущего варианта он отличается тем, что в посадочной площадке дополнительно размещены  $n$  аналогичных малых ЭМ таким образом, что все эти  $n + 1 = N$  электромагнитов при включении образуют равномерное поле локальных концентраций магнитного потока. Введены также  $N$  ключей,  $N$  измерительных преобразователей тока и  $N$  идентификаторов координат ЭМ, при этом в блоке управления предусмотрены дополнительные  $n$  выходов и  $N$  входов. Каждый из  $N = n + 1$  выходов блока управления через шину управления (ШУ) связан с соответствующим управляющим входом ЭМ, а каждый из  $N$  входов – через шину обратных связей (ШОС) с выходом соответствующего измерительно-

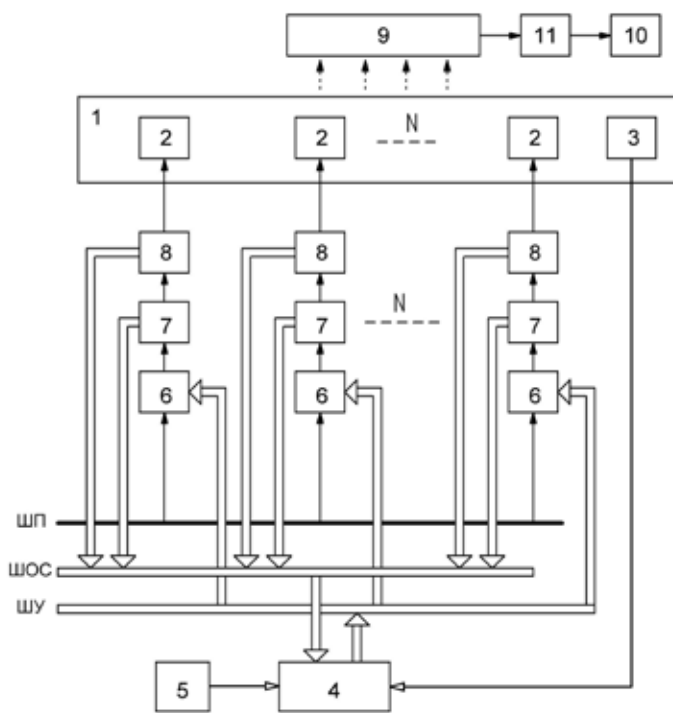


Рис. 5. Схема посадочной площадки БЭК с функцией бесконтактного заряда АКБ БПЛА:

1 – посадочная площадка; 2 – ЭМ; 3 – датчик приближения БПЛА к посадочной площадке; 4 – блок управления; 5 – пульт ручного управления; 6 – ключи; 7 – датчики тока ЭМ; 8 – идентификаторы координат ЭМ; 9 – вторичная катушка; 10 – зарядное устройство; 11 – АКБ; ШП – шина питания, ШОС – шина обратных связей, ШУ – шина управления

го преобразователя тока ЭМ и выходом идентификатора координат ЭМ [13]. Питание на каждый из ЭМ поступает от шины питания (ШП) через последовательно соединенные соответствующие ключи, измерительный преобразователь тока ЭМ и идентификатор координат ЭМ, при этом в посадочных опорах размещены вторичные катушки, связанные через зарядное устройство с АКБ, которые при посадке БПЛА находятся в зоне локальных концентраций магнитного потока, создаваемых ЭМ с разомкнутыми магнитопроводами. Они перекрываются проекцией вторичной катушки, являющимися, в этом случае, первичными катушками для бесконтактной передачи электроэнергии. Каждая посадочная опора БПЛА содержит ферромагнитный экран, конфигурация которого совмещает функции как магнитопровода для магнитного потока между магнитосвязанными первичными и вторичной катушками, так и магнитного реагента для осуществления фиксации БПЛА на посадочной опоре. При этом количество первичных катушек, магнитосвязанных с вторичной катушкой, равно двум или более.

На рис. 6 представлена конструкция посадочной площадки БЭК с функцией бесконтактной передачи электроэнергии для заряда АКБ БПЛА. Здесь выход датчика 3 приближения БПЛА к посадочной площадке 1 связан с первым входом блока 4 управления, а пульт 5 ручного управления соединен со вторым входом блока 4 управления. Питание на каждый из электромагнитов поступает от ШП через последовательно соединенные ключ 6, измерительный преобразователь 7 тока электромагнита и идентификатор 8 координат электромагнита [13]. Управляющие входы каждого из  $N$  ключей 6 через ШУ соединены с  $N$  выходами блока 4 управления, а каждый из  $N$  дополнительных входов блока 4 управления через ШОС связан с выходом соответствующего измерительного преобразователя 7 тока ЭМ и выходом идентификатора 8 координат ЭМ. Вторичная катушка 9 соединена через зарядное устройство 10 с АКБ 11.

Устройство для автоматической фиксации БПЛА на посадочной площадке БЭК работает следующим образом (рис. 5). От пульта 5 дистанционного управления активируется режим посадки БПЛА, после чего по сигналу от датчика 3 приближения выполняется контроль взаимного положения БПЛА и посадочной площадки 1. При сближении БПЛА с посадочной площадкой 1 на заданное расстояние по сигналу от блока 4 управления включаются все  $N$  электромагнитов 2. На посадочной площадке 1 образуется поле локальных концентраций магнитного потока. При попадании магнитных реагентов поса-

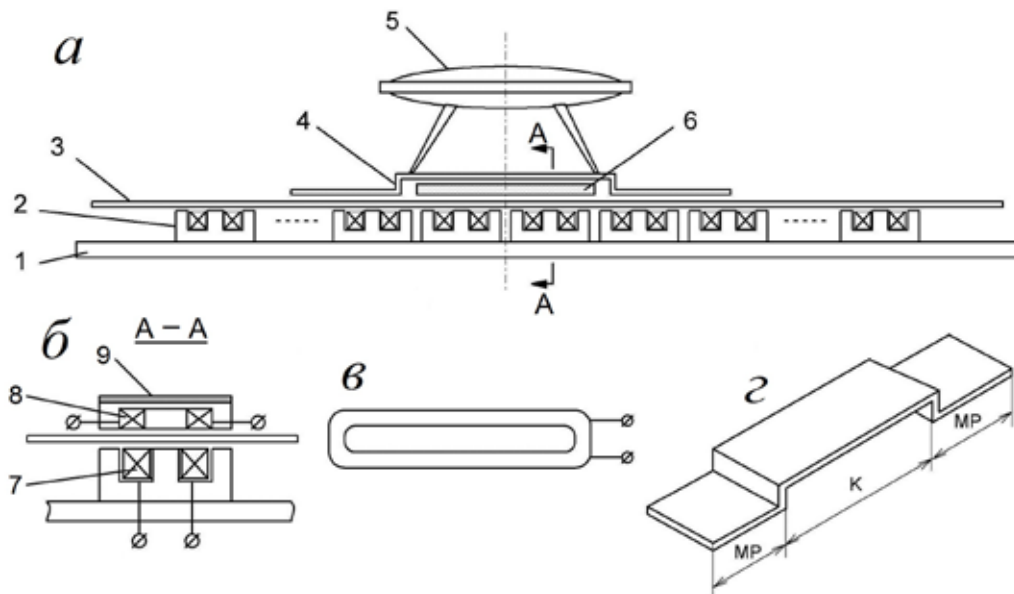


Рис. 6. Конструкция посадочной площадки БЭК с функцией бесконтактного заряда АКБ БПЛА:  
 а – БПЛА на посадочной площадке; б – взаимное расположение ЭМ с первичной и вторичной катушками и ферромагнитным экраном; в – вторичная катушка; г – ферромагнитный экран в составе посадочной опоры:  
 1 – основа посадочной площадки, 2 – ЭМ с разомкнутым магнитопроводом, 3 – немагнитное защитное покрытие, 4 – посадочная опора, 5 – БПЛА, 6 – вторичная катушка; 7 – первичная катушка; 8 – вторичная катушка; 9 – ферромагнитный экран; МР – зона ферромагнитного реагента, К – зона размещения вторичной катушки

дочных опор в зону концентраций магнитного потока за счет магнитного взаимодействия осуществляется притяжение посадочных опор к посадочной площадке 1. При этом число ЭМ 2, с которыми происходит непосредственное контактирование посадочных опор, будет определяться суммарной площадью зоны ферромагнитных реагентов посадочных опор и площадью проекции вторичной катушки 9 при заданном шаге установки ЭМ 2 на посадочной площадке [12].

Каждый отдельный ЭМ 2, входящий в состав посадочной площадки, в зависимости от взаимного расположения относительно периметра посадочной опоры выполняет или функцию фиксации БПЛА за счет притяжения ферромагнитных реагентов посадочных опор, или является первичной катушкой в системе бесконтактной передачи электроэнергии (рис. 6).

ЭМ имеют магнитопровод, разомкнутый с верхней стороны (рис. 6, а, б), т. е. при посадке БПЛА и приближении ферромагнитного реагента к ЭМ происходит замыкание магнитопровода, уменьшение его магнитного сопротивления и соответствующее увеличение индуктивного сопротивления катушки ЭМ [13]. При этом существенно снижается ток в его катушке, что регистрируется в измерительном преобразователе 7 тока и является индикатором конкретных ЭМ, контактирующих с зонами ферромагнитных реагентов посадочных опор. Позиции этих ЭМ в пределах посадочной площадки опреде-

ляются идентификатором 8 координат ЭМ. Позиции ЭМ, участвующих в создании магнитной связи с вторичной катушкой, определяются по геометрическому месту (К), расположенному между зонами (МР) ферромагнитных реагентов посадочной опоры (рис. 6, в) и также регистрируются идентификатором 8. Таким образом, при посадке БПЛА выполняется идентификация координат ЭМ, перекрываемых контуром посадочной площадки, что позволяет указанные выделенные ЭМ оставить включенными, а ЭМ, находящиеся за периметром посадочной опоры – отключить. В итоге при посадке БПЛА под посадочной опорой находятся определенное число включенных электромагнитов, одна часть которых обеспечивает фиксацию БПЛА за счет притяжения посадочных опор через ферромагнитные реагенты, а другая – выполняет функцию первичной катушки, магнитосвязанной с вторичной катушкой, и осуществляет бесконтактную передачу электроэнергии на БПЛА для заряда его АКБ. За счет отключения неиспользуемых ЭМ существенно снижается потребляемая электроэнергия от автономного источника БЭК и повышается энергетическая эффективность всего устройства. Использование  $N$  ЭМ с распределенными по посадочной площадке зонами локальных концентраций магнитного потока позволяет также выполнить площадку с размерами, достаточными для посадки БПЛА без предъявления повышенных требований к

точности его маневрирования. При необходимости осуществить взлет БПЛА оператором через пульт 5 дистанционного управления подается соответствующая команда на блок 4 управления, отключающая удерживающие ЭМ (рис. 5) [13].

На рис. 7 и 8 показаны результаты исследования в программных пакетах *ANSIS Maxwell* и *MATLAB Simulink* электромагнитного взаимодействия между первичными и вторичной катушками при бесконтактной передаче электроэнергии. Это позволило определить зависимости напряжения  $U_H^*$  на выходе вторичной катушки от тока нагрузки  $I_H^*$  для различных взаимных положений вторичной катушки относительно первичных катушек. Зависимости  $U_H^*(I_H^*)$  определены в относительном виде, где базовой величиной является напряжение на выходе вторичной обмотки при холостом ходе и максимальном значении коэффициента магнитной связи между катушками, что имеет место при перекрытии обводами площади вторичной катушки максимально возможного числа первичных катушек при выбранных параметрах. При смещении или повороте вторичной катушки площадь электромагнитного взаимодействия уменьшается, что приводит к снижению коэффициента магнитной связи и соответствующему уменьшению передаваемой электрической мощности.

Это наглядно иллюстрируют графики на рис. 8, где характеристики 1 и 2 определены для максимального и возможного минимального коэффициентов магнитной связи, откуда следует, что для заряда АКБ до напряжения  $U_{АКБ}$  во втором случае может потребоваться примерно в два раза больше времени, что следует из сопоставления значений токов  $I_1$  и  $I_2$ . Вместе с тем система остается в работоспособном состоянии, и процесс бесконтактной передачи электроэнергии осуществляется с достаточной эффективностью [13].

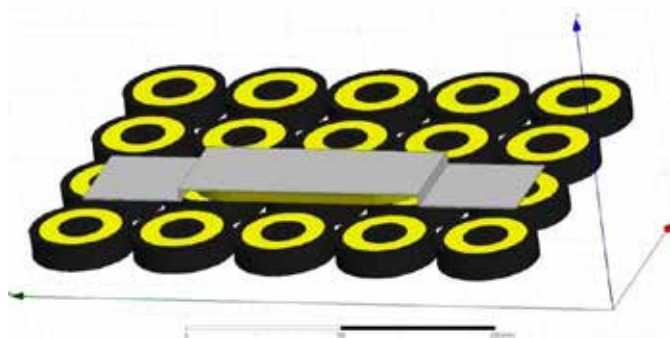


Рис. 7. Схема моделирования в программном пакете *ANSIS Maxwell* процесса электромагнитного взаимодействия между первичными и вторичной катушками при бесконтактной передаче электроэнергии

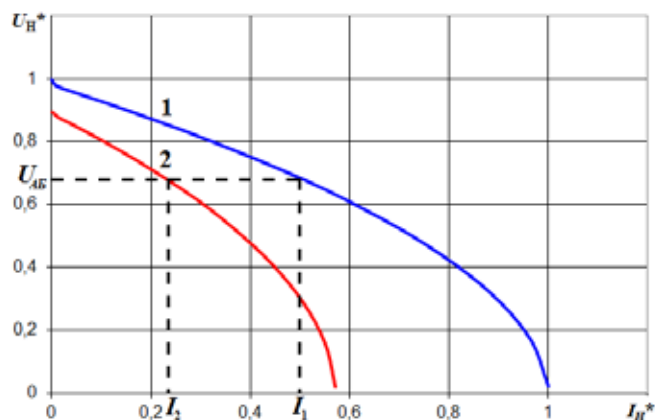


Рис. 8. Зависимости напряжения на выходе вторичной обмотки от тока нагрузки при различных смещениях первичной и вторичной обмоток

### 3. Экспериментальные исследования характеристик макета посадочной площадки квадрокоптера безэкипажного катера

Цель экспериментальных исследований – проверка принципиальной возможности посадки квадрокоптера на посадочную площадку БЭК и его старта с посадочной площадки при наличии больших статических кренов и в условиях волнения моря. Задачи экспериментальных исследований – измерение параметров работы посадочной площадки БЭК при наличии больших статических кренов и в условиях волнения моря:

- статических и кинематических характеристик посадочной площадки;
- магнитных и электрических характеристик посадочной площадки;
- параметров силового взаимодействия между посадочной площадкой и квадрокоптером;
- параметров посадки квадрокоптера на посадочную площадку БЭК и старта квадрокоптера с посадочной площадки в условиях волнения моря.

На рис. 9 показан макет посадочной площадки на БЭК для испытаний в лабораторных условиях [14]. Здесь на станине 8 смонтирована посадочная площадка 1 для квадрокоптера 3. К посадочной площадке прикреплены два качающихся кронштейна 5, между которыми находится связка 9, к которой, в свою очередь, жестко крепится рычаг 10. На станине 8 находится электромотор 13 с редуктором 12, на вал которого насажен кривошип, который при помощи тяги 11 имеет возможность воздействовать на рычаг 10, изменяя при этом угол крена посадочной площадки 1. При вращении вала электромотора 13 посадочная площадка совершает колебательные движения, ими-

тируя бортовую качку БЭК. За счет регулирования длины кривошипа и частоты вращения вала электромотора можно изменять размах качки  $\theta$  (градусы) и ее период  $\tau$  (секунды). Угол крена измеряется при помощи корабельного кренометра 4 (грубые измерения) и электронного кренометра 2 (более точные измерения). Список измерительных средств, приводится в табл. 1.

Таблица 1

Список измерительных средств

Наименование	Назначение
Электронные весы	Измерение веса БПЛА
Кренометр	Измерение угла крена
Динамометр	Измерение силы сцепления
Телекамера со встроенным секундомером	Измерение характеристик процессов посадки (старта) БПЛА
Вольтметр	Измерение затрат энергии на создание магнитного поля
Амперметр	

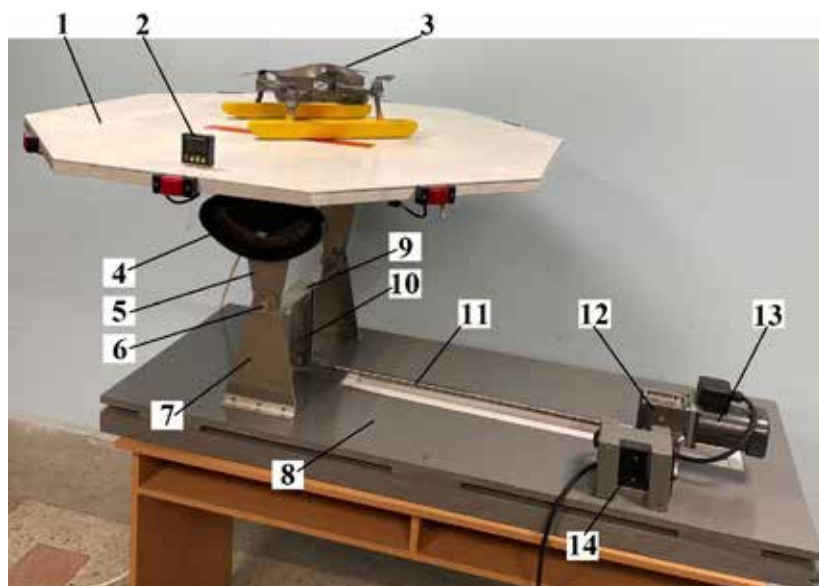


Рис. 9. Макет посадочной площадки БЭК:

1 – посадочная площадка; 2 – электронный кренометр; 3 – квадрокоптер; 4 – механический кренометр; 5 – качающийся кронштейн; 6 – ось; 7 – стационарный кронштейн; 8 – станина; 9 – связка; 10 – рычаг; 11 – тяга; 12 – редуктор с кривошипом; 13 – электромотор; 14 – пускатель

На рис. 10 показаны возможные состояния экспериментальной установки: а – крен  $0^\circ$ ; б – крен  $20^\circ$ ; в – крен  $40^\circ$ . Как видно, даже при крене  $40^\circ$  квадрокоптер не соскальзывает с посадочной площадки, оставаясь зафиксированным при помощи ЭМ. Лабораторные экспериментальные исследования макета посадочной площадки проводятся в следующем порядке [14]:

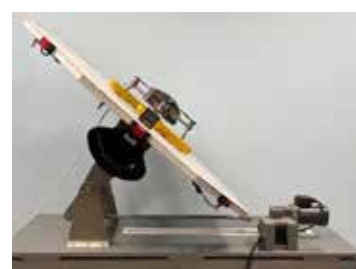
- готовится макет посадочной площадки, установленный с заданным углом крена (всего планируется испытать 5 углов крена  $\theta = 0; 10; 15; 20; 25$  и  $30^\circ$ );
- проверяется готовность электрической схемы посадочной площадки фактическим включением / выключением;
- готовится весовой макет квадрокоптера;
- измеряется вес ( $T_{\text{БПЛА}}$ ) квадрокоптера;
- включаются электромагниты посадочной площадки (измеряется напряжение  $U$ ,  $V$  и ток  $I$ ,  $A$ , подаваемые на электромагниты);
- квадрокоптер вручную устанавливается на посадочную площадку с включенными электромагнитами;
- измеряется динамометром сила ( $P$ ) сцепления квадрокоптера с макетом посадочной площадки (рис. 11);
- рассчитывается относительная сила сцепления  $P' = P / T$ ;
- результаты экспериментов заносятся в лабораторный журнал в виде таблицы, где в итоге надо определить минимальную силу сцепления и минимальный расход электроэнергии БЭК на активацию посадочной площадки.



а



б



в

Рис. 10. Возможные состояния экспериментальной установки:  
а – крен  $0^\circ$ ; б – крен  $20^\circ$ ; в – крен  $40^\circ$

Таблица 2

## Измеряемые величины

Наименование величины	Символ	Ед. измерен.
Углы крена макета посадочной площадки	$\theta$	градусы
Вес квадрокоптера	$T_{\text{БПЛА}}$	килограммы
Сила сцепления квадрокоптера с посадочной площадкой	$P$	килограммы
Текущее время	$t$	секунды
Смещение квадрокоптера на посадочной площадке	$\Delta$	метры
Напряжение, подаваемое на электромагниты	$V$	Вольт
Ток потребляемый ЭМ посадочной площадки	$A$	Ампер
Период качки посадочной площадки	$\tau$	секунды
Амплитуда качки посадочной площадки	$\theta$	градусы

Измеряемые в ходе эксперимента величины показаны в табл. 2.

Кинематические и динамические лабораторные экспериментальные исследования макета посадочной площадки проводятся в следующем порядке (см. рис. 9):

- готовится макет посадочной площадки;
- готовится к работе механизм управления параметрами качки посадочной площадки (планируется испытать три вида бортовой качки: плавная; средняя и стремительная);
- измеряется вес квадрокоптера;
- запускается в работу механизм управления параметрами качки посадочной площадки (в результате обработки показаний видеокамеры определяются параметры качки посадочной площадки: амплитуда  $\theta$  и период  $\tau$ );
- во время работы экспериментальной установки визуально определяется момент начала смещения квадрокоптера по площади посадочной площадки, что свидетельствует о том, что при данных параметрах качки квадрокоптер в итоге не удержится на ней и упадет в воду;

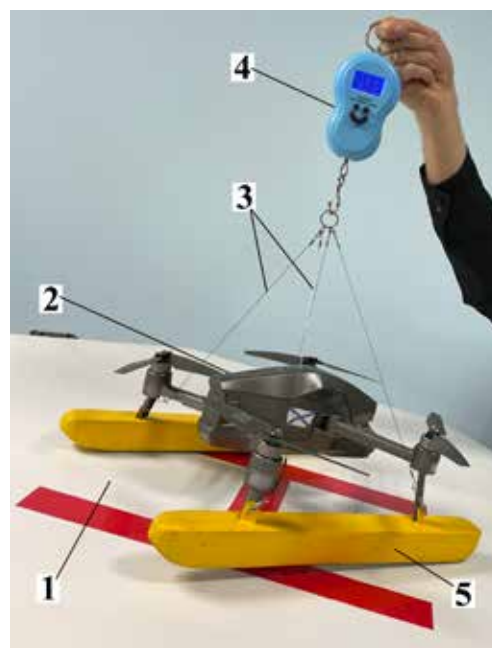


Рис. 11. Измерение силы сцепления БПЛА с посадочной площадкой:

1 – посадочная площадка; 2 – квадрокоптер; 3 – стропы; 4 – динамометр электронный; 5 – плавки с ферромагнитными рейками

- результаты экспериментов заносятся в лабораторный журнал в виде таблиц, где в итоге надо откорректировать (при необходимости) минимальную силу сцепления (т. е. минимальный расход электроэнергии БЭК на активацию посадочной площадки).

Список показателей, количественно выражающих оцениваемые характеристики, расчетные соотношения и формулы, по которым рассчитывают оцениваемые показатели, приводится в табл. 3. На рис. 12 показаны результаты статических лабораторных экспериментальных исследований макета посадочной площадки, проведенных согласно описанной методике. При проведении эксперимента напряжение  $U$ , подаваемое на электромагниты посадочной

Таблица 3

## Список показателей, количественно выражающих оцениваемые характеристики

Наименование величины	Ед. измерения	Метод измерения	Вид измерений
Вес квадрокоптера	килограммы	Взвешивание на электронных весах	Прямые измерения
Угол статического крена	градусы	Установка по шаблону	Прямые измерения
Сила сцепления БПЛА с посадочной площадкой ( $P$ )	килограммы	Показания динамометра	Прямые измерения
Напряжение, $U$	Вольт	Показания вольтметра	Прямые измерения
Сила тока, $I$	Ампер	Показания амперметра	Прямые измерения
Амплитуда качки, $\theta$	градусы	Покадровая обработка результатов видеонаблюдения с видеокамеры со встроенным секундомером	
Период качки, $\tau$	секунды		
Величина смещения квадрокоптера под воздействием ускорений, вызванных качкой, $\Delta$	метры		

площадки изменялось в пределах от 1,0 до 22 В, при этом мощность, потребляемая от аккумуляторной батареи БЭК, изменялась от 2,0 до 266 Вт. Дальнейшее увеличение напряжения было признано нецелесообразным, так как это приводило к сильному нагреву электромагнитов посадочной площадки.

Зависимость относительной силы сцепления  $P'$  от мощности  $N$ , подаваемой на электромагниты посадочной площадки (см. рис. 12), имеет вид, близкий к квадратичной параболе с признаками асимптотического приближения к некоторому пределу, обусловленному нагревом электромагнитов. При весе квадрокоптера  $T = 0,78$  кг и при довольно малом напряжении  $U = 3$  В относительная сила сцепления составила 3,8, т.е. в 3,8 раза больше веса самого квадрокоптера. Это является хорошим результатом, так целью эксперимента являлось определение наименьшей мощности, при которой обеспечивается надежное сцепление квадрокоптера с посадочной площадкой. При проведении экспериментальных исследований не выявлено зависимости силы сцепления  $T$  от угла крена  $\theta$  посадочной площадки [14].

В табл. 4 и на рис. 13 показаны результаты кинематических и динамических лабораторных экспери-

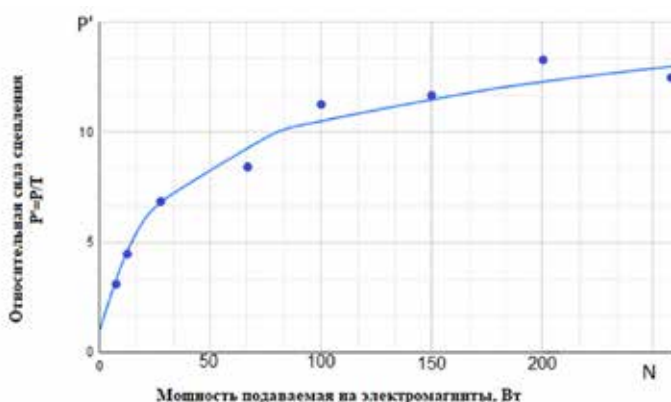


Рис. 12. Зависимость относительной силы сцепления  $P'$  от мощности  $N$ , подаваемой на электромагниты посадочной площадки

Таблица 4

Результаты кинематических и динамических лабораторных испытаний макета посадочной площадки

Амплитуда качки, $\Theta^\circ$	Период качки, т					
	10 с	7 с	4 с	3 с	2 с	1 с
	Признаки начала смещения БПЛА на посадочной площадке					
10°	нет	нет	нет	нет	нет	есть
15°	нет	нет	нет	нет	есть	есть
20°	нет	нет	нет	есть	есть	есть
25°	нет	нет	нет	есть	есть	есть
30°	нет	нет	нет	есть	есть	есть

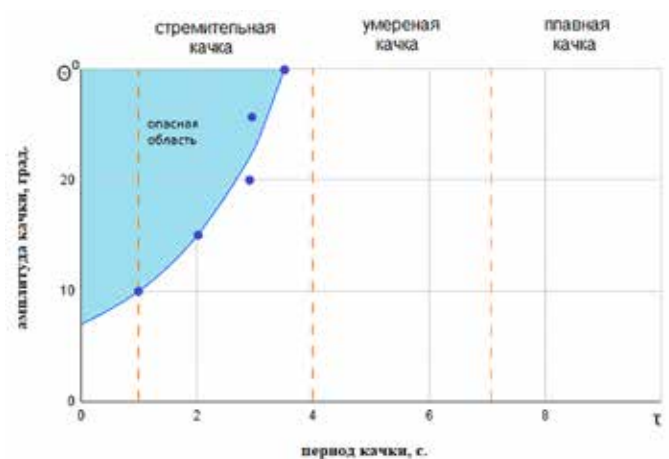


Рис. 13. Выявление опасной области параметров качки ( $\Theta$  и  $\tau$ ) безопасного катера при относительной силе сцепления  $P' = 7,2$

ментальных исследований макета посадочной площадки, проведенных согласно описанной методике. Измерения проводились при напряжении  $U = 5$  В, что давало относительную силу сцепления  $P' = 7,2$ . В результате экспериментальных исследований выявлена область безопасных параметров качки  $\Theta$  и  $\tau$ , при которых квадрокоптер удерживается на площадке без признаков перемещения. Область опасных параметров  $\Theta$  и  $\tau$ , при которых квадрокоптер уже не удерживается на посадочной площадке, лежит в области, не имеющей отношения к качке БЭК, а более подходит к параметрам ударных нагрузок.

## Выводы

1. Решена задача автоматического позиционирования БПЛА вертолетного типа на посадочной площадке БЭК. Разработана конструкция посадочной площадки в двух вариантах:

- посадочная площадка без заряда АКБ БПЛА [10];
- посадочная площадка с функцией заряда АКБ БПЛА [13].

2. Получены результаты исследования в программном пакете ANSYS Maxwell процесса электромагнитного взаимодействия между первичными и вторичной катушками при бесконтактной передаче электроэнергии, что позволило определить зависимости напряжения на выходе вторичной катушки от тока нагрузки для различных взаимных положений вторичной катушки относительно первичных катушек.

3. Разработана и создана экспериментальная установка «Макет посадочной площадки БПЛА» в масштабе 1:3 для исследований принципиальной



Рис. 14. Посадка БПЛА (квадрокоптера) на посадочную площадку БЭК «Макаровец» на Всероссийских соревнованиях по морской робототехнике «Восточный бриз - 2025»



Рис. 15. Тяжелый БПЛА Т-600 с торпедой Sting Ray на внешнем подвесе



Рис. 16. Старт из под воды двухсредного квадрокоптера «Crasuns»

возможности посадки БПЛА на посадочную площадку и его старта с посадочной площадки при наличии больших статических кренов и в условиях волнения моря. На рис. 14 показана посадка БПЛА вертолетного типа (квадрокоптера с поплавками) на посадочную площадку БЭК «Макаровец» на Всероссийских соревнованиях по морской робототехнике «Восточный бриз - 2025».

4. Данная технология в перспективе имеет много вариантов практического применения. Например, БПЛА вертолетного типа тяжелого класса, стартующие с БЭК (рис. 15), могут быть использованы в качестве носителей малогабаритных автономных необитаемых подводных аппаратов и торпед [15]. БЭК могут быть также носителями т. н. двухсредных квадрокоптеров (рис. 16), способных одинаково хорошо летать в воздухе и двигаться под водой на глубине до 60 м [16, 17].

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zhu H.Y. Chinese-built drone mothership boasts autonomous sailing systems // Baird Maritime. URL: <https://www.bairdmaritime.com/work-boat-world/research-environment-training/vessel-review-zhu-hai-yun-chinese-built-drone-mothership-boasts-autonomous-sailing-systems> (дата обращения: 30.04.2025).
2. Китай построил первый в мире беспилотный авианосец для запуска БПЛА // Zoom.cnews.ru. URL: <https://zoom.cnews.ru/news/item/549257> (дата обращения: 30.04.2025).
3. Беспилотный «авианосец» концерна «Калашников» ZALA-TRITON // Большая военная энциклопедия. URL: [https://zonwar.ru/news4/news\\_764\\_ZALA-TRITON.html](https://zonwar.ru/news4/news_764_ZALA-TRITON.html) (дата обращения: 30.04.2025).
4. БПЛА палубного базирования кардинальным образом изменят способы ведения боевых действий на море // Overclockers.ru. URL: <https://overclockers.ru/blog/amv212/show/128260/bpla-palubnogo-bazirovaniya-kardinalnym-obrazom-izmenyat-sposoby-vedeniya-boevykh-deystviy-na-more> (дата обращения: 30.04.2025).
5. Иран ввел в строй первый дронаосец «Шахид Бахман Багери» // Naked Science. URL: <https://naked-science.ru/community/1029348> (дата обращения: 30.04.2025).
6. Невское ПКБ разработало проект морской мобильной робототехнической системы // Sudostroenie.info. URL: <https://sudostroenie.info/novosti/40511.html> (дата обращения: 30.04.2025).
7. Рябов К. НАТО построит безэкипажный патрульный флот // Военное обозрение. 2024. URL: <https://topwar.ru/255609-nato-postroit-bezejkipazhnyj-patrulnyj-flot.html> (дата обращения 30.04. 2025).
8. Спасский Б.А. Автономные безэкипажные корабли военного и двойного назначения // Робототехника и техническая кибернетика. 2014. № 3(4). С. 9–16.
9. Трушенков В.В., Кабанов А.И., Сударчиков В.А. и др. Состояние и перспективы развития безэкипажных катеров. Предложения в концепцию развития и применения безэкипажных катеров ВМФ России. С-Пб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «Морское подводное оружие – Гидроприбор», 2016. 105 с.
10. Патент 2751735 Российская Федерация, МПК В64F 1/00 (2006.01), В64F 1/12 (2006.01). Устройство для автоматического фиксации беспилотного летательного аппарата вертолетного типа: № 202014165: заявл. 17.12.2020: опубл. 16.07.2021 / Илларионов Г. Ю., Герасимов В. А., Шамаков А. С., Викторов Р. В., Дмитриев С. С. 12 с.: 4 ил.
11. Патент 2760797 Российская Федерация, МПК В63G 1/00 (2006.01), В63B 25/00 (2006.01), G05D 1/02 (2006.01). Безэкипажный катер – носитель сменной полезной нагрузки: № 2021114347: заявл. 21.05.2021 : опубл. 30.11.2021 / Илларионов Г.Ю., Викторов Р.В., Кнуров М.В., Корнилов Н.А. 14 с. : 11 ил.
12. Басин А.М. Ходкость и управляемость судов. М.: Транспорт, 1977. 456 с.
13. Патент 2765726 Российская Федерация, МПК В64F 1/00 (2006.01), H02J 7/00 (2021.08). Устройство для автоматической фиксации беспилотного летательного аппарата вертолетного типа на посадочной площадке безэкипажного судна с бесконтактной передачей электроэнергии для заряда аккумуляторных батарей: № 2021108664: заявл. 31.03.2021: опубл. 02.02.2022 / Илларионов Г.Ю., Герасимов В.А., Филоженко А.Ю., Комлев А.В., Дмитриев С.С. 14 с.: 5 ил.
14. Патент 220742U1 Российская Федерация, МПК G01M 17/00 (2023.02); G01M 7/04 (2023.02). Испытательный динамический стенд проверки системы фиксации квадрокоптера на посадочной площадке: № 2023103734: заявл. 17.02.2023: опубл. 02.10.2023 / Илларионов Г.Ю., Викторов Р.В., Дмитриев С.С., Кнуров М.В., Березовский М.И. 14 с.: 3 ил.

15. Тяжелый коптер Т-600 впервые использовали для запуска противолодочной торпеды. URL: <https://www.techcult.ru/technics/12887-tyazhelyj-bespilot-nik-t-600>.

16. Квадрокоптер научили прятаться под водой месяцами. URL: <https://5cek.live-journal.com/130704.html> (дата обращения: 15.04.2025).

17. Квадрокоптер научили прятаться под водой месяцами. URL: [https://vk.com/video-70187957\\_456239017](https://vk.com/video-70187957_456239017)

### Справка об авторах:

**ИЛЛАРИОНОВ Геннадий Юрьевич**, д. т. н., профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, г. н. с. инновационного отдела

**Место работы:** Институт проблем морских технологий имени академика М.Д. Агеева Дальневосточного отделения Российской академии наук

**Адрес места работы:** 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, д.5а

**Область научных интересов:** исследования и разработка морских робототехнических комплексов двойного и специального назначения, а также их носителей и методов практического применения.

**E-mail:** illar1951gy@mail.ru. **Тел.:** +79147238288

**eLibrary Author ID:** 331168.

**ГЕРАСИМОВ Владимир Александрович**, к. т. н., профессор, заведующий лабораторией энергетики подводных робототехнических комплексов

**Место работы:** Институт проблем морских технологий имени академика М.Д. Агеева Дальневосточного отделения Российской академии наук

**Адрес места работы:** 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, д.5а

**Область научных интересов:** энергетика подводных аппаратов, бесконтактная передача электроэнергии, силовая преобразовательная техника

**E-mail:** gerasimov@marine.febras.ru, fobos\_v@mail.ru

**Тел.:** +79025223824

**ORCID:** 0000-0003-0246-475X

**ФИЛОЖЕНКО Алексей Юрьевич**, к. т. н., доцент, в. н. с. лаборатории энергетики подводных робототехнических комплексов

**Место работы:** Институт проблем морских технологий имени академика М.Д. Агеева Дальневосточного отделения Российской академии наук

**Адрес места работы:** 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, д.5а

**Область научных интересов:** энергетика подводных аппаратов, бесконтактная передача электроэнергии, силовая преобразовательная техника

**E-mail:** filozhenko\_a@mail.ru. **Тел.** +79140678041.

**ORCID:** 0000-0003-1684-3849

**ДМИТРИЕВ Сергей Сергеевич**, к. т. н., ст. преп. специальной кафедры

**Место работы:** Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанское высшее военно-морское училище имени С.О. Макарова» Министерства обороны Российской Федерации

**Адрес места работы:** 690062, Владивосток, Камский пер., д. 6.

**Область научных интересов:** исследовательское проектирование и проблемы базирования морских робототехнических комплексов.

**E-mail:** navy-sergey@mail.ru. **Тел.:** 8(423)236-09-46

**eLibrary Author ID:** 1102775.

DOI: 10.37102/1992-4429\_2025\_54\_04\_09

## RESEARCH OF THE USING POSSIBILITY AN UNMANNED SURFACE VEHICLE AS A CARRIER OF A HELICOPTER-TYPE UNMANNED AERIAL VEHICLE

**G.Yu. Illarionov<sup>1</sup>. V.A. Gerasimov<sup>1</sup>. A.Yu. Filozhenko<sup>1</sup>. S.S. Dmitriyev<sup>2</sup>**

The use of unmanned aerial vehicles (UAV – helicopter-type quadcopters) based on a mobile marine platform in the form of an unmanned surface vehicle (USV) allows solving a number of new problems, both military and dual-use. One of the main issues accompanying such a technical solution is ensuring the retention of the UAV on the USV landing pad and the implementation of contactless transmission of electricity from the USV to the UAV to charge its batteries. There is no information in the available sources about any results in this area, therefore the problem of fixing the UAV on the USV with its battery charge is relevant with an unconditional prospect of practical application. To solve this problem, a USV landing pad was developed, equipped with a matrix of specially designed electromagnets. Switchable interaction between the matrix of electromagnets and the UAV landing elements made it possible to combine the functions of holding the UAV with contactless charging of its batteries in one device. The conducted studies made it possible to determine the requirements for the energy parameters of the holding electromagnets to ensure the UAV is fixed without displacement on the landing pad under given external influences in the form of a certain wind load, as well as roll and vibration. The developed methods of experimental research on a large-scale model of a landing pad with a UAV ensure the reliability of the results. The technical solutions underlying the implementation of the adopted method of basing a UAV on a USV are protected by patents of the Russian Federation. The results obtained will find practical application in patrolling, monitoring and reconnaissance, as well as in relaying signals in communication networks connecting surface ships, aircraft and unmanned aerial vehicles.

**Keywords:** quadcopter, unmanned surface vehicle, landing pad, matrix of electromagnets, quadcopter fixation, contactless battery charging.

## References

1. Zhu Hai Yun – Chinese-built drone mothership boasts autonomous sailing systems. Baird Maritime. URL: <https://www.bairdmaritime.com/work-boat-world/research-environment-training/vessel-review-zhu-hai-yun-chinese-built-drone-mothership-boasts-autonomous-sailing-systems> (Access date: 30.04.2025).
2. Kitay postroil pervyy v mire bespilotnyy avianosets dlya zapuska BPLA. Zoom.cnews.ru. URL: <https://zoom.cnews.ru/news/item/549257> (Access date: 30.04.2025).
3. Bespilotnyy «avianosets» kontserna «Kalashnikov» ZALA-TRITON. Bolshaya voyennaya entsiklopediya. URL: [https://zonwar.ru/news/47news\\_764\\_ZALA-TRITON.html](https://zonwar.ru/news/47news_764_ZALA-TRITON.html) (Access date: 30.04.2025).
4. BPLA palubnogo bazirovaniya kardinalnym obrazom izmenyat sposoby vedeniya boyevykh deystviy na more. Overclockers.ru. URL: <https://overclockers.ru/blog/amv212/show/128260/bpla-palubnogo-bazirovaniya-kardinalnym-obrazom-izmenyat-sposoby-vedeniya-boevykh-deystviy-na-more> (Access date: 30.04.2025).
5. Iran vvel v stroy pervyy drononosets «Shakhid Bakhman Bageri». Naked Science. URL: <https://naked-science.ru/community/1029348> (Access date: 30.04.2025).
6. Nevskoye PKB razrabotalo proyekt morskoy mobilnoy robototekhnicheskoy sistemy. Sudostroenie.info. URL: <https://sudostroenie.info/novosti/40511.html> (data obrasheniya: 30.04.2025).
7. Ryabov K. NATO postroit bezekipazhnyy patrolnyy flot. Voyennoye obozreniye. 2024. URL: <https://topwar.ru/255609-nato-postroit-bezekipazhnyj-patrolnyj-flot.html> (Access date: 30.04. 2025).
8. Spassky B. Autonomous unmanned surface vehicles for military and dual application robotics and technical cybernetics. 2014. No. 3(4). P. 9–16.
9. Trushenkov V.V. Sostoyaniye i perspektivy razvitiya bezekipazhnykh katerov. Predlozheniya v koncepciyu razvitiya i primeneniya bezekipazhnykh katerov VMF Rossii / V.V. Trushenkov, A.I. Kabanov, V.A. Sudarchikov [idr.]. Sankt-Peterburg : GNC RF OAO «Koncern «Morskoe podvodnoye oruzhie – Gidropribor», 2016. 105 s.
10. Illarionov G.Iu., Gerasimov V.A., Shmakov A.S., Viktorov R.V., Dmitriev S.S. Device for automatic fixation of helicopter-type unmanned aerial vehicle. RF Patent No. 2751735, Bull. No. 20, dated 16.07.2021.
11. Illarionov G.Iu., Viktorov R.V., Knurov M.V., Kornilov N.A. Unmanned boat carrying a replaceable payload. RF Patent No. 2760797, Bull. No. 34, dated 21.05.2021.
12. Basin A.M. Khodkost i upravlyayemost sudov. M.: Transport, 1977. P. 456.
13. Illarionov G.Iu., Filozhenko A.Iu., Komlev A.V., Dmitriev S.S. Device for automatic fixation of a helicopter-type unmanned aerial vehicle on the landing pad of an unmanned vessel with contactless transmission of electricity to charge batteries. RF Patent No. 2765726, Bull. No. 4, dated 02.02.2022.
14. Illarionov G.Iu., Viktorov R.V., Dmitriev S.S., Knurov M.V., Berezovsky M.I. Ispytatelnyy dinamicheskiy stend proverki sistemy fiksatsii kvadroptera na posadochnoy ploshchadke. RF Patent No. 220742U1, Bull. No. 28, dated 02.10.2023.

## Recommended citation:

Illarionov G.Yu., Gerasimov V.A., Filozhenko A.Yu., Dmitriyev S.S. RESEARCH OF THE USING POSSIBILITY AN UNMANNED SURFACE VEHICLE AS A CARRIER OF A HELICOPTER-TYPE UNMANNED AERIAL VEHICLE. UNDERWATER INVESTIGATIONS AND ROBOTICS. 2025. No. 4 (54). P. 84–96. DOI: 10.37102/1992-4429\_2025\_54\_04\_09. EDN: MONBNX.

## Information about the authors

**ILLARIONOV Gennady Yurievich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Chief Researcher of the Innovation Department

**Name of institution:** Institute for Problems of Marine Technologies named after Academician M.D. Ageeva Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

**Work address:** 690091, Vladivostok, Sukhanova str., 5a.

**Research Interests:** research and development of dual- and special-purpose marine robotic systems, as well as their carriers and methods of practical application.

**E-mail:** [illar1951gy@mail.ru](mailto:illar1951gy@mail.ru)

**Phone:** +79147238288

**eLibrary Author ID:** 331168

**GERASIMOV Vladimir Alexandrovich**, Professor, Head of the Laboratory of Power Engineering of Underwater Robotic Complexes

**Name of institution:** Institute for Problems of Marine Technologies named after Academician M.D. Ageeva Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

**Work address:** 690091, Vladivostok, Sukhanova str., 5a.

**Research Interests:** power engineering of underwater vehicles, contactless transmission of electricity, power converter equipment.

**E-mail:** [gerasimov@marine.febras.ru](mailto:gerasimov@marine.febras.ru), [fobos\\_v@mail.ru](mailto:fobos_v@mail.ru)

**Phone:** +79025223824

**ORCID:** 0000-0003-0246-475X

**FILOZHENKO Alexey Yuryevich**, leading researcher of the Laboratory of Power Engineering of Underwater Robotic Complexes

**Name of institution:** Institute for Problems of Marine Technologies named after Academician M.D. Ageeva Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

**Work address:** 690091, Vladivostok, Sukhanova str., 5a.

**Research Interests:** power engineering of underwater vehicles, contactless transmission of electricity, power converter equipment.

**E-mail:** [filozhenko\\_a@mail.ru](mailto:filozhenko_a@mail.ru)

**Phone:** +79140678041

**ORCID:** 0000-0003-1684-3849

**DMITRIYEV Sergey Sergeyevich**, senior lecturer of the special department

**Name of institution:** Federal State Higher Military Educational Establishment Pacific Higher Naval College after S.O. Makarov.

**Work address:** 690062, Vladivostok, Kamsky lane, 6

**Research Interests:** research design and problems of basing marine robotic systems.

**E-mail:** [navy-sergey@mail.ru](mailto:navy-sergey@mail.ru)

**Phone:** 8(423)236-09-46

**eLibrary Author ID:** 1102775