

УДК 621.316

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ПРИВЯЗНЫХ ВЫСОТНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕЛЕ- КОММУНИКАЦИОННЫХ ПЛАТФОРМ

В.М. Вишневский

Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: vishn@inbox.ru

Ключевые слова: привязная высотная телекоммуникационная платформа; система передачи энергии; беспилотный летательный аппарат; система дифференциальных уравнений; мобильный комплекс.

Аннотация: В работе дан краткий обзор состояния и перспектив развития привязных высотных беспилотных телекоммуникационных платформ. Описана архитектура, комплекс научно-технических задач проектирования и реализации нового поколения высотных платформ, которые могут эффективно использоваться для расширения возможностей наземной мобильной техники радиоэлектронной борьбы. Описан опыт ИПУ РАН по разработке и реализации многофункциональной привязной высотной беспилотной мультирольной платформы.

1. Введение

В настоящее время широкое развитие получили высотные платформы, реализуемые на автономных беспилотных летательных аппаратах, и подводные роботы. Основным недостатком автономных беспилотных аппаратов (БПЛА) является ограниченное время функционирования, связанное с малым ресурсом аккумуляторов БПЛА, оснащенных электрическими двигателями или запасом топлива для двигателей внутреннего сгорания. В связи с этим такие БПЛА не могут быть эффективно использованы в системах, где требуется длительное время функционирования, например, в системах управления безопасностью и охраны от террористических угроз критически важных объектов (атомных станций, аэродромов, протяженных мостов, участков границы), использование в интересах радиоэлектронной борьбы и т.д. Длительное функционирование могут обеспечивать привязные высотные беспилотные платформы, в которых электропитание двигателей и аппаратуры полезной нагрузки осуществляется от наземных источников энергии. Привязные высотные платформы занимают промежуточное положение между спутниковыми системами и наземны-

ми системами, оборудование которых (базовые станции сотовой связи, радиорелейное и радиолокационное оборудование и т.д.) располагается на высотных сооружениях. По сравнению с дорогостоящими спутниковыми системами, привязные высотные платформы обладают высокой экономичностью, а наземные телекоммуникационные системы превосходят по обширности зон телекоммуникационного и видео покрытия. Учитывая перспективность практического применения привязных беспилотных высотных платформ как в гражданских, так и в оборонных отраслях, в исследовательских центрах передовых стран мира ведутся интенсивные работы по проектированию и реализации таких платформ. Основным направлением исследований является создание систем передачи энергии высокой мощности по тонким медным кабелям и беспилотных аппаратов, обладающих высокой надежностью и длительным временем функционирования без опускания на землю.

В настоящее время известны многочисленные зарубежные проекты создания привязных высотных платформ с малой высотой подъема (до 50-70 м) и малым (до 2-3 кВт) энергопотреблением двигательных установок (например, разработка французской фирмы Elistair (<https://elistair.com>)). Аналогичную продукцию поставляют на международный рынок китайская фирма Beijing Dagong Technology (<https://dagongtech.en.alibaba.com>), немецкая фирма Copting (www.copting.de), фирма AeroVironment (США) (<http://avia.pro/blog/aerovironment-tether-eye-tehnicheskie-harakteristiki-foto>) и т.д. Однако эти системы не обеспечивают подъем на значительные высоты полезной нагрузки сколь-либо существенного веса, т.к. основная энергия расходуется на работу двигательных установок и удержание кабель-троса. Рассматриваемая в настоящей статье отечественная разработка имеет значительные конкурентные преимущества, обладая значительно лучшими основными характеристиками.

Основным преимуществом данного проекта по сравнению с отечественными и зарубежными разработками является возможность удаленной передачи энергии мощностью до 10-15 кВт по медным проводам малого сечения (малого веса) с земли на борт для питания электродвигателей и аппаратуры высотной винтокрылой платформы. Новая технология передачи энергии обеспечит возможность подъема платформы на высоту до 100-150 м с полезным грузом до 20 кг и длительным сроком функционирования, ограниченным лишь надежностными характеристиками беспилотного аппарата. Отметим, что указанная технология передачи энергии по проводам малого сечения может быть также эффективно использована при создании глубоководных роботов. Оригинальность технологии подтверждена патентом № 2572822 «Способ удаленного проводного электропитания объектов» от 16.12.2015г.

В последнее время появилась информация о начале новых зарубежных разработок в области привязных высотных платформ. В сентябре 2016г. Американское агентство по перспективным исследованиям (DARPA) объявило конкурс на создание системы мониторинга подвижных объектов с использованием привязных высотных винтокрылых платформ длительного функциони-

рования (<http://www.darpa.mil/news-events/2016-09-13>). В 2017 г. было объявлено о том, что крупнейшая американская телекоммуникационная компания сотовой связи AT&T планирует реализовать проект по созданию «LTE-вышек» на базе привязных мультикоптеров (<https://3dnews.ru/947864>). В соответствии с проектом, базовые станции сотовой связи LTE (Long Term Evolution), установленные на борту привязной высотной платформы должны осуществлять обслуживание мобильных пользователей (сотовые телефоны, гаджеты и т.д.) на территории до 100 км².

Указанные проекты свидетельствуют об актуальности отечественной разработки и дополнительных обширных областях ее применения.

2. Проектирование архитектуры привязной высотной телекоммуникационной платформы

Разработка привязной высотной платформы длительного функционирования требует проведение комплекса предварительных работ, направленных на решение таких задач, как определение облика привязной платформы, расчет ее основных аэродинамических, летно-технических характеристик, а также характеристик устойчивости и управляемости с учетом всепогодных и всеклиматических условий применения.

При выборе аэродинамической схемы привязной платформы следует учитывать особенности ее работы и условия эксплуатации. Необходимо, чтобы пространственная ориентация платформы не зависела от направления ветровой нагрузки, или эта зависимость была сведена к минимуму. В противном случае система управления автоматически должна обеспечивать флюгирование аппарата относительно направления ветра, что существенно усложнит саму систему управления платформой. По этим соображениям для привязной платформы возможно использование трех аэродинамических схем: одновинтовая с несколькими рулевыми устройствами (рулевыми винтами), симметрично расположенными относительно оси несущего винта; соосная; с четырьмя и более винтами, симметрично расположенными относительно центра платформы.

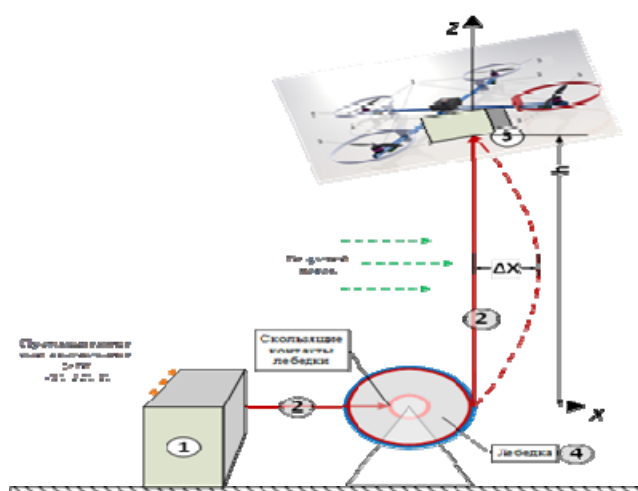
В конструктивном отношении наиболее простой является одновинтовая схема. Вся масса конструкции и целевой нагрузки здесь компактно располагаются вблизи центра масс платформы. Все нагрузки приходящие с несущего винта замыкаются и передаются на силовую конструкцию платформы по коротким путям, что делает ее относительно легкой. Трансмиссия в этой схеме будет также относительно простой и компактной. Недостатком этой схемы является наличие рулевых винтов и необходимость иметь дополнительные двигатели на их привод.

Соосная схема в аэродинамическом отношении является симметричной. Поэтому ее курсовая ориентация практически не зависит от направления ветра. Но данная схема имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, чтобы обеспечить противоположное вращение лопастей надо иметь соответствующую трансмиссию – редуктор, который будет намного сложнее, а главное тяжелее, чем

редуктор у одновинтовой схемы. Во-вторых, у соосной схемы существует вероятность схлестывания лопастей при обтекании аппарата горизонтальным потоком воздуха. В-третьих, у соосного винта более сложная и громоздкая механика управления. Исходя из этих соображений, платформа с соосным несущим винтом была исключена из дальнейшего исследования.

Четырехвинтовая платформа также является аэродинамически симметричной схемой. Управление угловым положением платформы осуществляется за счет изменения тяг на винтах. Поэтому одним из достоинств этой схемы является высокая эффективность (мощность управления) платформой за счет взаимного разноса винтов. Кроме того, у многовинтовых схем больше диапазон возможных целевой нагрузки на платформе. Поскольку винты имеют управление только общим шагом лопастей, а также отсутствует циклическое изменение углов установки, механизмы управления имеют более простую конструкцию. Отсутствуют высокооборотные элементы, такие как автомат перекося, что увеличивает надежность всей системы управления. Для привязных платформ целесообразно использование мультироторной схемы (например, восьмироторный БПЛА), где также, как и в предыдущем варианте, управление угловым положением платформы осуществляется за счет изменения тяг на винтах и изменения частоты вращения винтов.

Подъем привязной платформы на высоту до 50 метров не представляет больших технических трудностей. Подъем на высоту 100 метров и выше при применении привязной платформы в сложных метеоусловиях требует разработки математической модели функционирования привязной платформы, учитывающей влияние троса на БПЛА при ветровой нагрузке. Решение этой сложной задачи иллюстрируется рис. 1.



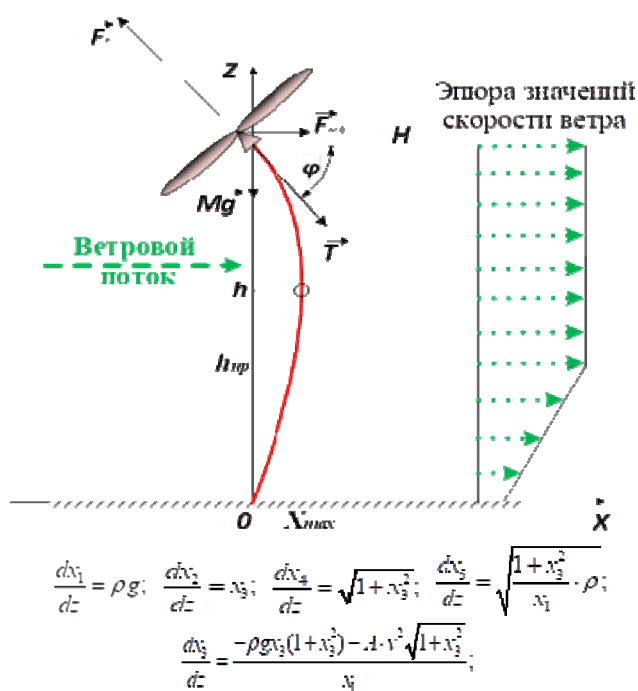


Рис. 1. Математическая модель динамики привязной высотной платформы со сложным нагружением кабель-троса в условиях турбулентной атмосферы.

Исследование математической модели динамики привязной высотной платформы со сложным нагружением кабель-троса и решение системы дифференциальных уравнений для расчета сил, действующих на платформу в условиях турбулентной атмосферы, позволяют определить необходимую мощность земля-борт в зависимости от высоты подъема и величины скорости ветра. Например, при высоте подъема $H=150$ м, скорости ветра $V=15$ м/сек., весе полезной нагрузки $P \leq 10$ кг передаваемая мощность земля-борт должна быть не менее 7 кВт.

В настоящее время в ИПУ РАН разработан и испытан экспериментальный образец привязной высотной платформы длительного функционирования [2-5]. В качестве высотного модуля использовался 8-роторный коптер (потребляемая мощность каждого электродвигателя 500 Вт). Разработанная система передачи энергии обеспечивает передачу энергии земля-борт мощностью до 6 кВт по тонкому (50 г/м) кабель-тросу на кевларовой основе. В рамках длительных испытаний в различных погодных условиях осуществлялся подъем на высоту до 100 м полезной нагрузки весом до 6 кг. При этом длительность ежедневной работы составляла 5-7 часов без опускания коптера на землю. Архитектура привязной высотной платформы включает следующие основные компоненты.

- 1) Беспилотный мультироторный аппарат большой грузоподъемности и длительного времени функционирования, предназначенный для подъема и удержания на высоте до 100 м полезной телекоммуникационной нагрузки, аппаратуры видеонаблюдения и РЭБ.
- 2) Система передачи энергии земля-борт большой мощности, обеспечивающая электропитание двигательных установок беспилотного мультироторного аппарата и аппаратуры полезной нагрузки.

- 3) Система управления и стабилизации высотной платформы, включая резервную локальную навигационную подсистему с наземными радиомаяками.
- 4) Бортовую аппаратуру полезной нагрузки в составе: базовая станция сотовой сети четвертого поколения (LTE); радиолокационное и радиорелейное оборудование; аппаратура видеонаблюдения и т.д.
- 5) Кабель-трос на кевларовой основе, включающий медные провода малого сечения для передачи высоковольтных (до 2000 В), высокочастотных (до 200 кГц) сигналов и оптическое волокно для трансляции цифровой информации со скоростью до 10 Гбит/с.
- 6) Наземный комплекс управления, в состав которого входит преобразователь напряжения переменного тока 380/2000 В, система диагностики параметров высотной платформы и лебедка с микропроцессорным блоком для управления натяжением кабель-троса при подъеме, спуске и ветровых нагрузках.

Разработана методология передачи энергии большой мощности. В отличие от традиционных низкочастотных подходов реализован резонансный метод передачи энергии высоковольтным (до 2000 В), высокочастотным (до 200 кГц) сигналом, позволяющий резко снизить массу и габариты наземного и бортового преобразователей напряжения. Указанный метод позволяет также осуществлять многофазную передачу энергии, причем общая передаваемая мощность пропорциональна числу фаз в соединительной линии (кабель-тросе), что обеспечивает высокую выходную мощность (20 кВт в дальнейшей разработке) и малый вес кабель-троса. Резкое снижение веса бортового преобразователя и соединительного кабель-троса, что принципиально для создания привязной высотной платформы, является одним из основных преимуществ предлагаемого подхода. Разработана также конструкция высоковольтного высокочастотного кабель-троса передачи электрической энергии большой мощности для электропитания двигателей БПЛА и полезной нагрузки. Разработанная конструкция кабель-троса изготовлена ОКБ кабельной промышленности (г. Мытищи).

3. Заключение

В настоящее время в ИПУ РАН ведутся дальнейшие научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки мобильной и стационарной привязной высотной беспилотной платформы. Ведется разработка следующих систем:

- система локального управления и стабилизации высотной платформы в условиях отсутствия или ослабления сигналов GPS/ ГЛОНАСС;
- система диагностики параметров высотного беспилотного модуля (вибрация, температура, напряжение и ток), передаваемых в режиме on-line по оптоволоконному каналу связи в наземную систему управления;
- система навигации стационарных подвижных объектов с использованием аппаратуры «псевдоспутников», установленных на привязных высотных платформах.