

УДК 621.43:621.313

**ГИБРИДНАЯ СИЛОВАЯ УСТАНОВКА С ДВУХТАКТНЫМ ДВС
И АКСИАЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ НА ОБЩЕМ ВАЛУ**

Мирошников Н.С., студент гр. НЭб-251, 1 курс

Научный руководитель: Шаулев А.А., ассистент кафедры ЭПА

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева,
г. Кемерово

Аннотация. Рассматривается одновальная гибридная силовая установка, в которой двухтактный двигатель внутреннего сгорания и аксиальный электродвигатель объединены общим валом. Схема предназначена для улучшения пусковых и переходных режимов. Возможность применения подобной установки в составе силового модуля БПЛА рассматривается как одно из перспективных направлений ее практического использования

Ключевые слова: гибридная силовая установка, двухтактный ДВС, аксиальный электродвигатель, общий вал, крутящий момент.

Введение

Разработка компактных и эффективных силовых установок для БПЛА является актуальной инженерной задачей, поскольку к таким системам предъявляются повышенные требования по массе, габаритам, надежности и устойчивости работы в переменных режимах. Одним из возможных направлений решения этой задачи является применение гибридных схем. Целью работы является анализ принципа действия, преимуществ и инженерных ограничений одновальной гибридной силовой установки с двухтактным ДВС и аксиальным электродвигателем.

Компоновка гибридного модуля

Внешний вид рассматриваемого гибридного силового модуля приведен на рисунке 1. На нем показано соосное размещение аксиального электродвигателя и двухтактного ДВС в составе единого силового узла.

Соосная схема с аксиальным электродвигателем позволяет сократить длину силового модуля и уменьшить число промежуточных узлов и соединений [3, 4]. Малая осевая длина электрической машины дополнительно способствует уменьшению продольных габаритов установки [4]. Отсутствие ременной или зубчатой передачи снижает механические потери, делает конструкцию более цельной и уменьшает число потенциальных точек отказа [7]. Благодаря этому такая компоновка представляет интерес для авиастроения, где особенно важны компактность, ограниченная масса и простота конструкции. По сравнению с более сложными гибридными схемами она также может быть проще и менее затратной в реализации [2, 3].



Рисунок 1 – Компоновка гибридного силового модуля с аксиальным электродвигателем и двухтактным ДВС

Продольный разрез рассматриваемой установки представлен на рисунке 2. Разрез позволяет оценить взаимное расположение общего вала, опорных узлов, электромагнитной части двигателя и кривошипно-шатунного механизма ДВС, а также наглядно показывает отсутствие промежуточной передачи между агрегатами.

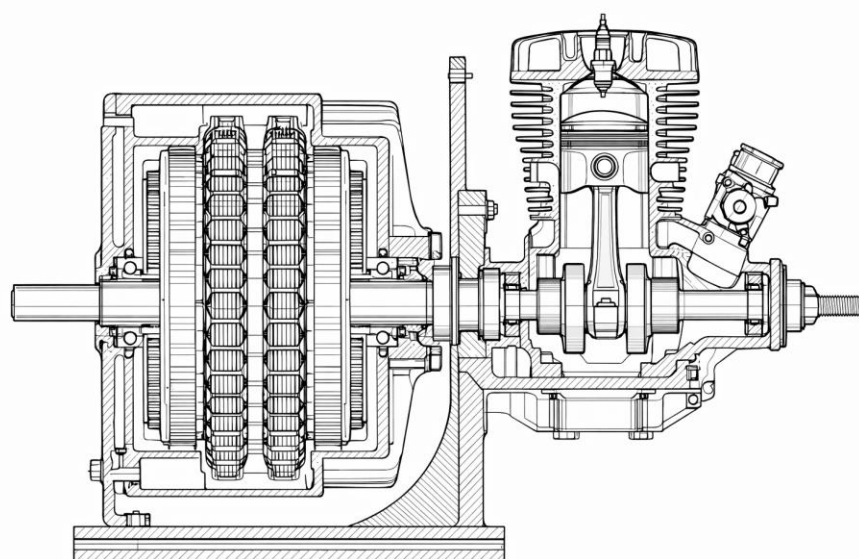


Рисунок 2 – Продольный разрез гибридного силового модуля с аксиальным электродвигателем и двухтактным ДВС на общем валу

Для одновальной схемы характерны несколько ключевых рисков. Обратная передача момента приводит к взаимному нагружению ДВС и электродвигателя, ухудшению устойчивости режимов и снижению ресурса узлов, поэтому требует применения развязывающих элементов и согласованной логики управления [2, 3]. Крутильные колебания вызывают рост динамических напряжений,

вибраций и вероятность усталостного разрушения вала и соединений, вследствие чего необходимы демпфирование силовой линии и учет переменных нагрузок при расчете [8]. Тепловое взаимодействие ДВС и электродвигателя может вызывать перегрев электрической части и снижение ее надежности, что требует тепловой защиты и эффективного отвода тепла [4, 6].

Принцип работы гибридной установки

Принцип работы рассматриваемой установки определяется тем, что оба агрегата объединены общей механической осью, но выполняют различные функции в зависимости от режима. На этапе запуска электродвигатель раскручивает ДВС до частоты, достаточной для пуска, что позволяет отказаться от отдельного стартера и сократить число вспомогательных узлов. После запуска основным источником мощности становится ДВС, тогда как электродвигатель сохраняет вспомогательную функцию и используется в тех режимах, где требуется кратковременное повышение момента на общем валу.

Такой подход особенно важен для двухтактного двигателя, поскольку на низких оборотах и при резком изменении нагрузки его работа менее устойчива [1]. Благодаря быстрому отклику электродвигатель обеспечивает кратковременную поддержку в режимах, наиболее сложных для двухтактного ДВС. [2]

Распределение крутящего момента по режимам работы

На рисунке 3 примерная зависимость крутящего момента от частоты вращения общего вала для пары ДВС и ЭД в составе силовой установки БПЛА.

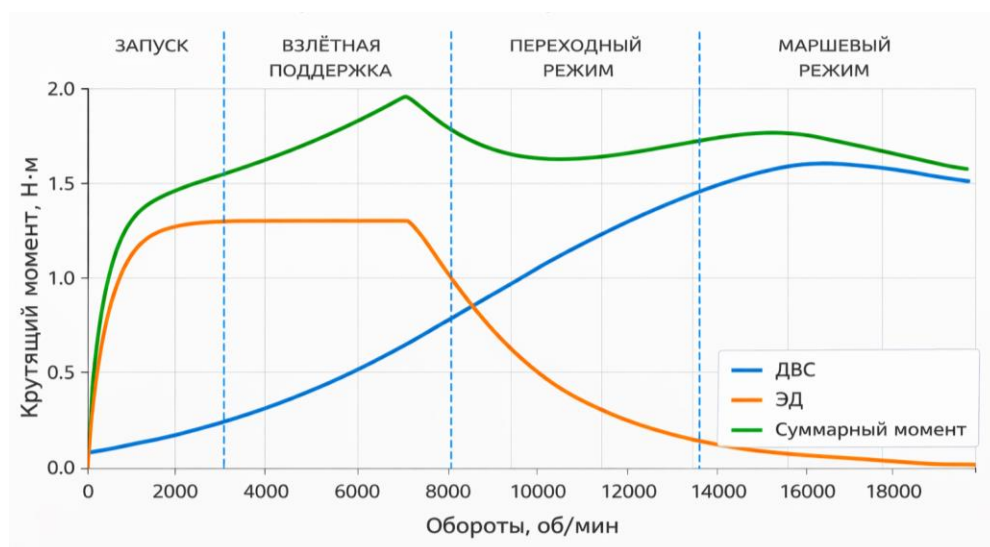


Рисунок 3 – Примерная зависимость крутящего момента от оборотов для пары ДВС и ЭД

Из графика следует, что в области запуска и малых оборотов наибольший вклад в суммарный момент вносит электродвигатель. По мере роста частоты вращения вклад ДВС увеличивается и становится основным, тогда как участие электродвигателя уменьшается. В результате суммарный момент на валу изменяется более равномерно, что улучшает работу силовой установки в

переходных режимах и работу воздушного винта. Наиболее важным с практической точки зрения является повышение располагаемого момента именно в тех зонах, где собственные возможности двухтактного ДВС ограничены. Это способствует повышению тяговооруженности на взлетных режимах и увеличению грузоподъемности или полезной нагрузки аппарата.

Вывод

Соосное объединение двухтактного ДВС и аксиального электродвигателя на общем валу позволяет реализовать компактный гибридный силовой модуль. Наибольший практический эффект такой схемы связан с повышением располагаемого момента в пусковых и переходных режимах. Это позволяет рассматривать ее как перспективный вариант силовой установки для БПЛА.

Список литературы:

1. Бирюк, В. В. Разработка методики расчёта рабочего процесса и мощностных характеристик малоразмерного двухтактного двигателя внутреннего сгорания [Электронный ресурс] / В. В. Бирюк, А. А. Горшкалев, М. О. Захаров [и др.] // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2021. – Т. 20, № 3.
2. Рутковский, В. О. Оптимизация конструкций гибридных силовых установок [Электронный ресурс] / В. О. Рутковский, М. А. Рутковская // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2019. – С. 341-343.
3. Зосимов, А. Г. Альтернативная гибридная силовая установка системы привода воздушного винта беспилотного самолёта [Электронный ресурс] / А. Г. Зосимов, А. Н. Емельянов, Д. А. Идиятуллин // Научный вестник МГТУ ГА. – 2016. – № 223(1). – С. 77-83.
4. Исмагилов, Ф. Р. Обзор конструкций дисковых электромеханических преобразователей энергии для различных областей применения [Электронный ресурс] / Ф. Р. Исмагилов, В. Е. Вавилов, И. Ф. Саяхов // Электротехнические системы и комплексы. – 2018. – № 1(38). – С. 68-79.
5. Иванов-Смоленский, А. В. Электрические машины: учебник для вузов: в 2 т. Т. 1 / А. В. Иванов-Смоленский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МЭИ, 2004. – 656 с.
6. Чернавский, С. А. Курсовое проектирование деталей машин: учебное пособие / С. А. Чернавский, К. Н. Боков, И. М. Чернин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1988. – 416 с.
7. ГОСТ Р ИСО 3046-5-2004. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Часть 5. Крутильные колебания. = Reciprocating internal combustion engines. Performance. Part 5. Torsional vibrations : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 9 марта 2004 г. № 113-ст : введен впервые : дата введения 01.01.2005 / разработан Центральным научно-исследовательским дизельным институтом (ЦНИДИ). – Текст : непосредственный.