

АНАЛИЗ СХЕМ ГИБРИДНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК НА БАЗЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Равикович Ю.А.¹, Холобцев Д.П.¹, Серков В.В.¹

¹Московский авиационный институт, г. Москва, serkoff.vadim@yandex.ru

Ключевые слова: гибридные силовые установки, малоразмерный газотурбинный двигатель, компоновочная схема.

Авиационная гибридная силовая установка (ГСУ), включающая в себя несколько различных источников энергии для привода движителя (в данном случае малоразмерный газотурбинный двигатель (МГТД) и электрическую машину (ЭМ)), позволяет существенно повысить топливную эффективность летательного аппарата (ЛА), снизить вредные выбросы и повысить экономичность эксплуатации. Встраивание ЭМ в силовую установку (СУ) на базе МГТД производится по последовательной или параллельной схеме [1].

На рис. 1 изображена параллельная гибридная схема с обратимой ЭМ – мотор-генератором (М-Г), расположенным между редуктором (Р) и валом свободной турбины (СТ). Для стыковки М-Г с валом СТ используется расцепительная муфта (М), отключающая М-Г от МГТД в случае его поломки. Выходной вал мотор-генератора соединен с тяговым винтом через редуктор. Через двунаправленный полупроводниковый преобразователь к М-Г подключен накопитель электрической энергии, например на основе литиевых аккумуляторных батарей (АКБ).

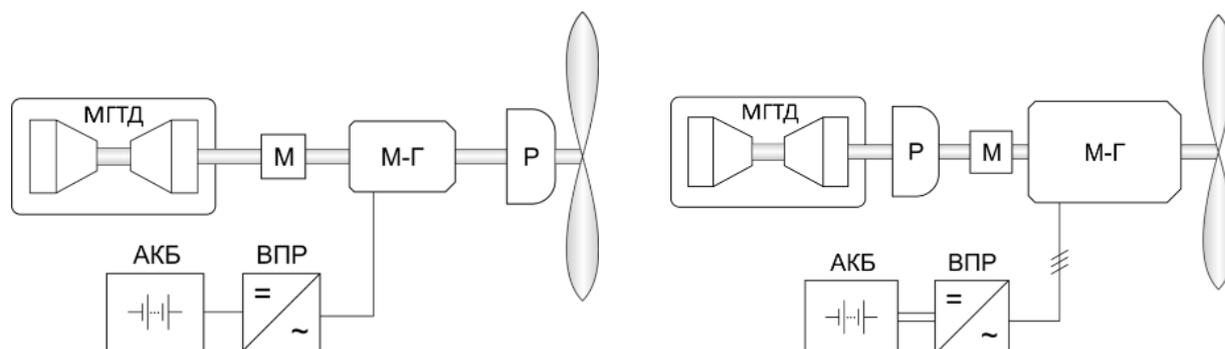


Рисунок 1 – Гибридная параллельная схема тяги одномоторного ЛА: М – муфта, М-Г – мотор-генератор, ВПР – выпрямитель, АКБ – аккумуляторная батарея

Рисунок 2 – Гибридная параллельная схема тяги одномоторного ЛА

Такая компоновка позволяет снизить размеры М-Г за счет высокой скорости вращения. Также в схеме на рис. 1 сохраняется жесткая связь МГТД и воздушного винта, тем самым сохраняется высокая надежность при добавлении новых компонентов СУ. Использование ГСУ обеспечивает оптимальное использование запасенной на борту энергии. Например, на взлете, когда требуется повышенная мощность, ГСУ работает в совместном режиме работы МГТД и М-Г (от предварительно заряженных аккумуляторов). После завершения взлета МГТД переводится в крейсерский режим, а электрическая машина в режим генератора, в котором происходит дозарядка АКБ. В случае выхода из строя МГТД муфта расцепляет вал СТ и М-Г, дальнейший полет в аварийном режиме обеспечивается на электрической тяге.

Схема на рис. 2 отличается от схемы на рис. 1 тем, что М-Г установлен уже после Р. Преимуществом такой схемы является то, что в случае аварии, мощность ЭМ будет расходоваться только на привод воздушного винта, а СТ и Р после расстыковки, не будут создавать дополнительных моментов сопротивления вращению. Недостаток схемы на рис. 2 – М-Г будет иметь гораздо большие размеры и массу из-за того, что его частота вращения, по сравнению с вариантом 1, будет значительно меньше (≈ 2000 об/мин). Это приведет к

увеличению массы М-Г. В случае применения схемы на рис. 1 – М-Г будет иметь высокую частоту вращения, что позволит снизить её массу и габариты.

Далее рассматриваются схемы последовательной гибридизации (рис. 3-4). Главное отличие последовательной схемы от параллельной заключается в отсутствии механического редуктора и механического соединения вала СТ с воздушным винтом [2]. Это приводит к тому, что ЭМ в данных схемах представлена не одной обратимой машиной (как на рис. 1-2), а двумя отдельными: электрогенератором (ЭГ) и электродвигателем (ЭД).

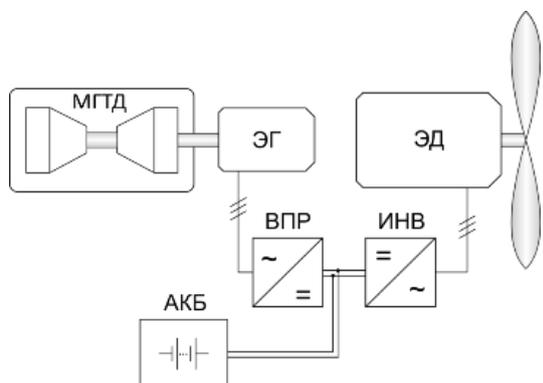


Рисунок 3 – Гибридная последовательная схема тяги одномоторного ЛА: ЭГ – электрический генератор, ЭД – электрический двигатель, ИНВ – инвертор

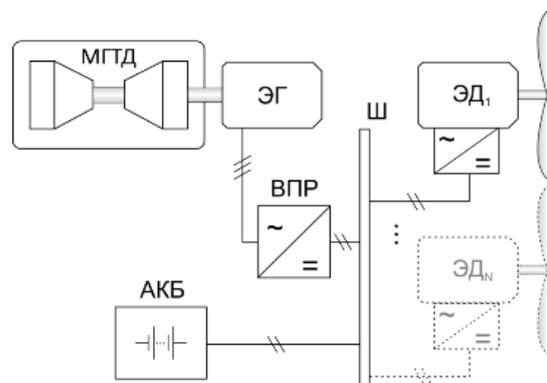


Рисунок 4 – Гибридная последовательная схема тяги многомоторного ЛА с общей электрической шиной (Ш)

В схеме, изображенной на рис. 3 ЭГ размещен непосредственно на валу свободной турбины МГТД. Однако, в отличие от схемы, представленной на рис. 1 ЭГ уже не выполняет роль двигателя и вращается с постоянной скоростью равной частоте вращения вала СТ. Такой тип работы ЭГ приводит к тому, что МГТД работает в одном режиме, не испытывает перегрузок от смены режимов и более просто регулируется. От ЭГ мощность поступает на выпрямитель (ВПр), а затем через инвертор (ИНВ) на ЭД, который вращает воздушный винт. В зависимости от режима работы часть мощности может запасаться в АКБ.

Основным отличием схемы с рис. 4 от схемы с рис. 3 является общая шина постоянного тока, к которой могут подключаться дополнительные ЭД, АКБ и другие устройства. Эта схема также позволяет реализовать так называемую распределенную систему тяги со множеством ЭД и одним, или несколькими ЭГ.

Все перечисленные схемы ГСУ (рис. 1-4) предназначены для обеспечения вариативности управления, повышения надежности, ресурса, сокращения вредных выбросов и уменьшения удельного расхода топлива. Недостатком вышеописанных схем ГСУ (рис. 1-4) можно считать появление нового оборудования (электронных преобразовательных блоков, М-Г, М, АКБ и пр.) на борту ЛА.

Общими достоинствами схем параллельной гибридизации в сравнении с последовательными является:

- более высокая надежность, поскольку сохраняется непосредственное соединение МГТД, редуктора и воздушного винта;
- большая удельная мощность, так как два источника энергии могут работать параллельно;
- меньшая удельная масса, так как всего одна ЭМ, но обратимая.

Список литературы

1. Формирование предварительного технического облика и оценка характеристик гибридной авиационной вспомогательной силовой установки, работающей на авиационном топливе / М. В. Гордин, Н. Д. Рогалев, И. С. Аверьков [и др.] // Авиационная промышленность. – 2018. – № 3-4. – С. 10-15. – EDN VRPRVK.
2. Плевако, С. Ю. Перспективы гибридных силовых установок для беспилотных летательных аппаратов / С. Ю. Плевако, Ю. В. Зиненков // Авиакосмические технологии

(АКТ-2018): тезисы XX Международной научнотехнической конференции и школы молодых ученых, аспирантов и студентов, Воронеж, 13–14 июня 2019 года. – Воронеж: ООО Фирма "Элист", 2019. – С. 161- 163. – EDN CIJBPN.

Сведения об авторах

Равикович Ю.А., доктор технических наук, профессор, и.о. проректора по научной работе, заведующий кафедрой «Конструкция и проектирование двигателей».

Холобцев Д.П., начальник научно-исследовательского отдела.

Серков В.В., инженер научно-исследовательского отдела.

ANALYSIS OF SCHEMES OF HYBRID POWER PLANTS BASED ON SMALL-SIZED GAS TURBINE ENGINES

Ravikovich Y.A.¹, Kholobtsev D.P.¹, Serkov V.V.¹

¹Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia, serkoff.vadim@yandex.ru

Keywords: hybrid power plants, small-sized gas turbine engine, layout diagram.

The electric drive is integrated into the power plant according to a serial or parallel scheme. The main difference of serial schemes is the absence of a mechanical connection of the small-sized GTE with the prop.