

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АВИАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

Кайбышев В. Р.¹, Магданова К. Р.², Салахов А. Х.³

¹Кайбышев Вадим Равилевич / Kaybyshev Vadim Ravilevich – студент;

²Магданова Карина Римовна / Magdanova Karina Rimovna – студент;

³Салахов Айдар Хадисович / Salakhov Aidar Khadisovich – студент,
направление: специальные электромеханические системы,
кафедра электромеханики, факультет авионики, энергетики и инфокоммуникаций,
Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

Аннотация: в статье приведены требования, предъявляемые к авиационным электрическим машинам, применяемые на летательных аппаратах. Выявлены мировые компании-лидеры в производстве авиационных электрических машин. Выявлены наиболее инновационные электрические машины, применяемые в авиации. Разобраны особенности конструктивного исполнения и характеристики высокотемпературных и высокоиндуктивных электрических машин. Проведен сравнительный анализ высокотемпературных и высокоиндуктивных электрических машин как наиболее перспективных для использования на летательных аппаратах.

Ключевые слова: анализ, авиационные электрические машины, летательный аппарат, требования авиационных электрических машин, компании-лидеры, постоянный магнит, высокотемпературные и высокоиндуктивные электрические машины.

Требования к авиационным электрическим машинам (ЭМ) в первую очередь определяется типом летательного аппарата (ЛА), его функциональными возможностями и режимом выполнения им полетного задания.

Бывают ЛА:

- гражданские;
- боевые;
- пилотируемые;
- непилотируемые.

Для гражданских ЛА характерны следующие типы полетного задания: взлет, посадка, руление, полет ночью. Для боевых добавляются типы полетного задания, определенные спецификой самого ЛА.

Основные требования к авиационным ЭМ прописаны в ГОСТах и ОСТах, причем согласно этим требованиям каждая авиационная машина должна выдерживать 1,5 кратную перегрузку по току в течение 5 минут и двукратную в течение 5 секунд. Авиационная ЭМ согласно ОСТ 180800 должна быть полностью автономна, то есть не должна иметь отдельных возбудителей и прочих элементов, не входящих в ее конструкцию, но необходимую для ее работы. Авиационные ЭМ должны обладать минимальной массой. В среднем снижение массы летательного аппарата на один кг приводит к снижению расхода топлива на один час полета примерно на 40 г. Налет ЛА за год составляет примерно 2500 ч, в среднем в эксплуатации находится 500 летательных аппаратов данного типа. Тогда годовая экономия топлива составит $40 \cdot 2500 \cdot 500 = 0,5 \cdot 10^8 \text{ г} = 50 \text{ т}$. Из этого следует, что даже снижение массы летательного аппарата на 1 кг приводит к значительной экономии [1, 9].

Авиационные ЭМ также должны обладать максимальным коэффициентом полезного действия (КПД), так как они преобразуют в большинстве случаев механическую энергию от газотурбинного двигателя в электрическую. Соответственно они снижают мощность газотурбинного двигателя, и при низком КПД снижение этой мощности может в значительной степени повлиять на летные характеристики ЛА. Желательно чтобы сопутствующие элементы ЭМ также обладали минимальной массой, а в ее систему охлаждения требовалось минимальное количество хладагента.

Все эти требования в своем большинстве касаются пилотирования ЛА и не позволяют повсеместно производить авиационные ЭМ.

В мире не так много компаний занимающихся производством авиационных ЭМ. Лидерами являются *Hamilton Sundstrand*, *Honeywell*, *Rolls-Royce*, *Launch point*. Эти компании являются мировыми лидерами по производству авиационных ЭМ как традиционной конструкции, так и инновационной.

Основные инновационные авиационные ЭМ: высокотемпературные, высокоскоростные, индукторные (высокоиндуктивные), сверхпроводниковые.

Лидером по высокотемпературным ЭМ является *Rolls-Royce*. Авиационный двигатель обычно состоит из двух валов: вала низкого давления, на котором температура не превышает 150°C и вала высокого давления, на котором температура порядка $300 - 400^\circ\text{C}$, при этом каждый из этих валов эффективно работает в тот или иной момент выполнения полетного задания. Вал низкого давления вырабатывает максимум энергии при посадке и рулении, а вал высокого давления вырабатывает максимум энергии при

взлете, рулении на определенных режимах. С вала высокого давления наиболее просто осуществить электрозапуск авиационного двигателя. Поэтому в *Rolls-Royce* было разработано две ЭМ.

Первая – высокотемпературный стартер-генератор индукторного типа устанавливается на валу высокого давления и представляет собой либо четырех-, либо возьми фазную ЭМ в зависимости от заказчика. Данная ЭМ имеет следующие характеристики: диаметр ротора – 200 мм, аксиальная длина – 100 мм, мощность – 150 кВт, частота вращения – 13500 об/мин. На статоре располагается высокотемпературная обмотка, которая выдерживает до 450 °C. В основе этой обмотки – медь, весь секрет в составе изоляции.

Вторая – разработанная ЭМ на валу низкого давления, которая представляет собой ЭМ с постоянными магнитами, которая имеет пять фаз. Применяют магниты *SmCo* и зубцовую обмотку для снижения длины. Параметры: рабочая температура – 150 °C, частота вращения – 1000 – 3000 об/мин, мощность – 250 кВт

Наибольших успехов в высокоиндуктивных машинах с постоянными магнитами (ПМ) добились в *Honeywell*. Одной из основных проблем, которое ограничивает применение ЭМ с ПМ в авиации – это проблема короткого замыкания (КЗ), т.е. при КЗ в виду наличия ПМ, поле возбуждения на роторе отключить невозможно, следовательно, и невозможно мгновенно отключить машину при КЗ. Ток КЗ на 15% больше номинального тока. Это направление получило название высокоиндуктивных или индуктивноограниченных ЭМ с ПМ. Что позволило вывести их на рынок с ПМ. На этой основе они разработали высокооборотный турбокомпрессор мощностью 17 кВт с частотой вращения 100000 об/мин. Бандаж данной машины выполнен из инконеля 718. На роторе данной ЭМ, которая представляет двухполюсную конструкцию, установлены магниты *SmCo*, при этом для обеспечения длительного срока службы, в данном турбокомпрессоре *Honeywell* применил газодинамические подшипники, срок службы которых – 30 лет. Статор они выполнили с трехфазной распределенной обмоткой и сделали его из стали M16 – 0127. Толщина листа 0,127 мм. Эта машина планируется для установки на рапторе.

При сравнении двух перспективных видов авиационных электрических двигателей, были выявлены их основные достоинства и недостатки. Высокотемпературные двигатели, имеющие более низкую стоимость, более высокую технологичность производства находят более широкое применение в авиации. Преимущества высокоиндуктивных машин с ПМ, в более высокой частоте вращения, при меньшей мощности. В ближайшей перспективе высокоиндуктивные машины с ПМ, наиболее перспективны, нежели высокотемпературные ЭМ.

Литература

1. *Винокуров В. А.* Авиационные электрические машины. М.: Изд. ВВИА имени проф. Н. Е. Жуковского, 1972.