

## ТОРМОЗНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МАШИНА ДЛЯ САМОЛЁТА

**Х.С. Юнусов**

*Томский политехнический университет*

Научный руководитель: А.Г. Гарганеев, д.т.н., профессор ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

Цель работы – разработка тормозного устройства самолета на базе электрической машины.

Есть определенный опыт в грузоподъемном машиностроении: при торможении электродвигатель переводится в режим электромагнитного тормоза, при снижении частоты вращения до 40–15 % от номинального значения накладывается механический тормоз [1]. В связи с этим снижается время и стоимость технического обслуживания. Значительно упрощается система управления такого торможения с развитием цифровой электроники.

Если использовать аналогичное техническое решение при посадке самолета, то вместо дискового тормоза можно применить электрическую машину, работающую в режиме электромагнитного тормоза. В конце посадки для фиксации вала ходовой части шасси, в соответствии с требованиями техники безопасности, необходимо использовать стояночный тормоз. В качестве привода тормоза можно использовать электромагнитное устройство.

Разработка конструкции электрической машины торможения связана с жесткими ограничениями, вызванная конструкцией самолета. Важнейшим требованием к конструкции тормозной машины является полная унификация деталей и узлов корпуса и шасси самолета. После разгона и набора высоты шасси убирается в фюзеляж. Габариты машины не должны препятствовать выполнению данной опции. В данной ситуации, оптимальным решением является размещение активной части машины в пространстве обода колеса шасси. При этом отсутствуют дополнительные элементы конструкции, которые изменяют конфигурацию шасси. Недостатком данного решения является ограниченный объем обода колеса.

Известно, что энергетические показатели и мощность электрической машины зависят от массы активных материалов. При ограниченном объеме развить достаточно высокий момент тормозной машины можно, лишь применяя форсированный режим работы: используя повышенную плотность тока, поддерживая в воздушном зазоре повышенную индукцию. В таком режиме можно использовать электротехническое изделие только ограниченное время не вызывая недопустимый перегрев. К положительным качествам торможения при посадке нужно отнести следующее – процесс торможения при посадке длится не более одной минуты, аварийное воздействие оказывается кратковременно. То есть наш электропривод можно отнести по классификации к кратковременному режиму работы. В этом режиме работы температура нагрева обмоток электрической машины не достигает установившегося значения, а в паузах – обмотка охлаждается до температуры окружающей среды [3]. Чтобы решить поставленную задачу необходимо использовать лучшие современные материалы: высокоэнергетические постоянные магниты, электротехническую сталь, материалы магнитопровода с высокой магнитной проницаемостью, обмотка статора с высоким температурным индексом изоляции, высокопрочные и легкие конструкционные материалы.

Для проектирования электрической машины торможения необходима конструкторская проработка шасси самолета. Необходимо создать такую конструкцию электрической машины, которая не внесет существенных изменений в конструкции шасси, не повлечет снижение надежности самолета.

Электрическая машина для передачи момента торможения  $M_t$  ротора 2 (рис. 1) должна быть жестко связана с валом шасси. Поэтому используем вал шасси также в качестве вала электрической машины (так называемая встраиваемая конструкция машины).

Диаметр вала шасси самолета составляет 85 мм. Этот размер великоват для машины, но этот вариант исключает вал и муфту машины, имеющие внушительную массу. Роторная не магнитная втулка 3 (рис. 1) будет размещена (горячая посадка) на валу шасси. Для фиксации втулки могут быть использованы четыре штифта, забиты и зафиксированы сваркой для исключения проворачивания втулки в аварийных ситуациях (на рисунке не показаны). На втулку 3 устанавливаются постоянные магниты тангенциально намагниченные 4 и полюса 5 из ферромагнетиков с высокой магнитной проницаемостью. Полюса имеют наконечники 6 из магнитомягкой стали. Наконечники сварены с немагнитными прокладками 7 для фиксации положения полюсов.

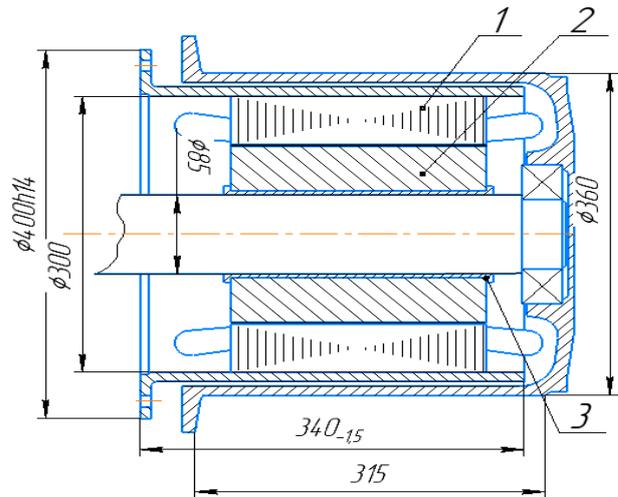


Рис. 1. Общий вид СГПМ

При выборе конструкции самой электрической машины отдано предпочтение синхронной машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами с редкоземельными металлами. Одним из важнейших достоинств такой машины является низкая магнитная проницаемость материала магнита (близкая к воздуху) при токах реакции якоря близких к величине короткого замыкания [4]. Наиболее предпочтительным материалом является NdFeB (ниодим железо бор), обладающий выдающимися энергетическими свойствами и имеющий точку Кюри 180 °С.

Статор – классическая трехфазная многополюсная синхронная машина. Постоянные магниты размещены на роторе. При выборе конструкции ротора отдано предпочтение ротору коллекторного типа с тангенциальным намагничиванием. Данный тип конструкции при наличии многополюсной обмотки обладает наибольшей величиной развиваемого момента по сравнению с известными конструкциями [4].

На рис. 2 представлена разработанная конструкция магнитоэлектрической тормозной машины с ротором коллекторного типа. Станина из прочного алюминиевого сплава 8 крепится болтами к неподвижной конструкции шасси. На внутренней поверхности у торца имеются замки для жесткой посадки и фиксации станины. Наружный диаметр станины обработан и обеспечивает равномерный зазор между вращающимся ободом и корпусом электрической машины.

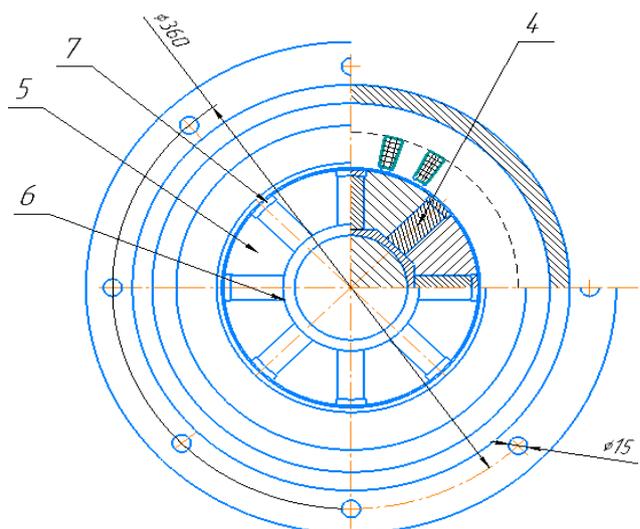


Рис. 2. Вид спереди СГПМ

Следует отметить, что тормозную электрическую машину можно использовать в режиме «двигатель» (мотор-колесо) от бортовой сети аккумуляторов посредством преобразователя частоты. Таким образом, можно транспортировать самолет до взлетно-посадочной полосы, снизить расход топлива, разгонять колесо самолёта до посадочной скорости при посадке. Это сокращает время использования маршевых двигателей самолета на земле на 30–40 мин за один вылет и существенно снижает расход топлива в среднем до 200 л за каждый взлёт и посадку [2].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование, конструирование и расчет механизмов мостовых кранов: учебное пособие / В.П. Жегульский, О.А. Лукашук; под ред. Г. Г. Кожушко. – Екатеринбург: Урал, 2016 – 184 с.
2. Технодинамика. [Электронный ресурс]. – URL: <https://technodinamika.ru/> (дата обращения: 23.04.2023).
3. ГОСТ ИЕС 60034-1–2014. Машины электрические вращающиеся. Номинальные значения параметров и эксплуатационных характеристик.
4. Ледовский А.И. Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 168 с.

## РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ТОРМОЖЕНИЯ САМОЛЁТА

**Х.С. Юнусов**

*Томский политехнический университет*

Научный руководитель: А.Г. Гарганеев, д.т.н., профессор ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Разработка тормозной машины связана с определением исходных энергетических показателей электрической машины [1]. Важнейшими из этих показателей являются средняя величина тормозного момента, обеспечивающая остановку и длину пробега самолета. К числу исходных данных относятся также частота вращения вала шасси, время работы машины и средняя мощность за период посадки.

Горизонтальная составляющая кинетической энергии самолета определяется по формуле:

$$W = \frac{mv_0^2}{2}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса самолета, идущего на посадку;  $v_0$  – начальная скорость самолета при посадке.

Эта механическая энергия самолета при посадке, в конечном счете, необратимо преобразуется в тепловую энергию. Преобразования совершают тормозные устройства колес самолета для остановки его при посадке. Электрические машины в составе тормозных устройств работают в режиме генератора. Они преобразуют механическую энергию в электрическую, а затем в тепловую на внешних реостатах. При этом, ротор электрической машины создает тормозной момент на валу шасси самолета. В качестве тормозных устройств применяются также воздушные тормоза (закрылки, аэродинамические тормозные щитки), т. е. устройства увеличивающие парусность самолета. Существенный вклад в снижении посадочной скорости оказывает турбовинтовые двигатели, осуществляющие реверс в начальной фазе посадки. Однако основную долю горизонтальной составляющей кинетической энергии самолета  $W$  превращают в тепловую энергию и рассеивают в окружающем пространстве тормозные устройства колес. Вклад тормозных устройств в погашение кинетической энергии самолета по оценке специалистов составляет приблизительно 70 % [2].

Тормозной момент в устройствах создается электрическими машинами, выполняющих роль электромагнитного тормоза. Достоинствами таких тормозов является возможность изменения величины тормозного момента в широком диапазоне с помощью регулирования параметров схемы. Кроме того, принцип работы этих тормозов исключает юза колес при посадке. Механическая энергия тормозов за период посадки самолета описывается формулой:

$$W_T = M_T \omega_{cp} \cdot t, \quad (2)$$

где  $M_T$  – суммарный тормозной момент тормозов;  $\omega_{cp}$  – средняя угловая частота вращения колес за период торможения;  $t$  – время торможения (период посадки).