



ПЕТЕРБУРГСКАЯ  
ЭЛЕКТРОННАЯ  
КОМПАНИЯ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР  
ВЫСОКОНАДЕЖНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

## Выбор электродвигателей для космических применений



подготовлено на основе руководства NASA  
SELECTION OF ELECTRIC MOTORS  
FOR AEROSPACE APPLICATIONS

# Выбор типа двигателя для космических применений с учетом особенностей применения

### Важные факторы при выборе электродвигателя

- область применения
- условия окружающей среды
- сложность конструкции
- срок службы
- профиль формы корпуса
- источник питания
- цикл работы
- пульсация момента\*
- занимаемый объем
- выделение тепла
- эффективность
- управляемость
- момент
- скорость
- вес

\* *пульсация момента – разница между  $t_{max}$  и  $t_{min}$  значением момента в течение одного оборота*

**Бесколлекторные двигатели постоянного тока являются лучшим решением для космических применений, так как обладают большим сроком службы, обеспечивают высокие моменты, высокую эффективность и низкое тепловыделение**

### Достоинства

Выбор оптимального электрического двигателя для космических применений обеспечивает: безопасность, надежность, эффективность и экономичность в потреблении электричества при космических полетах. Бесколлекторные двигатели постоянного тока обеспечивают решения в самом легком весе.

### **В космосе применяются в основном 4 типа электродвигателей:**

- индукционные электродвигатели переменного тока
- коллекторные двигатели постоянного тока
- бесколлекторные двигатели постоянного тока
- шаговые двигатели

### **Индукционный электродвигатель переменного тока**

- применяется для решений, где требуется постоянная скорость вращения и на тех космических аппаратах, где доступен источник питания фиксированной частоты (обычно 60 Гц или 400 Гц)
- обычное применение – вентиляторы и насосы
- на обмотки статора, расположенные на не вращающейся части двигателя, подается ток. Ток в обмотке ротора индуцируется полем статора и создает магнитное поле. Это магнитное поле взаимодействует с не вращающейся частью двигателя и создает момент. Эти двигатели являются надежными и не содержат изнашивающихся механизмов, за исключением подшипников.

## Использование основных четырех типов двигателей для космических применений

Индукционный двигатель АС	Коллекторный двигатель ДС	Бесколлекторный двигатель ДС	Шаговый двигатель
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Актуаторы управления вектором силы тяги</li> <li>• Применения с высокими моментами и высокими скоростями вращения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Применения с ограниченным сроком службы</li> <li>• Применения с низкими скоростями вращения</li> <li>• Применения с высокими моментами</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Актуаторы управления вектором силы тяги</li> <li>• Актуаторы управления топливными заслонками</li> <li>• Развертывание солнечных батарей</li> <li>• Гироскопы</li> <li>• Высокие скорости вращения</li> <li>• Применения, где требуется малый вес</li> <li>• Применения, где требуется малое выделение тепла</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Приводы для оптики</li> <li>• Развертывание солнечных батарей</li> <li>• Применения с низким моментом</li> <li>• Микро позиционирование без обратной связи</li> </ul>

**В коллекторном двигателе применяется щеточно-коллекторный узел для подачи тока на обмотки ротора.**

В коллекторном двигателе обмотки находятся на роторе, а постоянные магниты закреплены на не вращающемся кольце статора. Ток на обмотки ротора подается через подпружиненные щетки и кольцо коллектора. Ток в обмотках ротора создает магнитное поле, которое взаимодействует с магнитным полем постоянных магнитов статора. Взаимодействие магнитных полей вызывает вращение ротора. Это вращение является причиной того, что через щетки и коллекторное кольцо переключаются обмотки ротора. Вращающееся магнитное поле обеспечивает момент, необходимый для вращения ротора.

**В бесколлекторных двигателях используется электронная коммутация для управления током в обмотках**

- в бесколлекторном двигателе статор состоит из обмоток, подключенных в многофазовую конфигурацию и обеспечивающих вращающееся поле, и якоря, состоящего из сердечника из мягкого железа с постоянными магнитными полюсами
- бесколлекторный двигатель содержит датчик положения ротора, таким образом воздействие на обмотки ротора происходит последовательно в зависимости от положения ротора
- коммутационная логика и переключающая электроника преобразует информацию о положении ротора в соответствующее возбуждение фаз статора.
- в качестве датчика положения ротора могут использоваться: датчик Холла, абсолютные энкодеры, оптические энкодеры и резольверы.
- электроника контроллера может поставляться отдельно или быть установлена в двигателе
- эффективность двигателя возрастает ввиду отсутствия потерь на щетках

**Бесколлекторные двигатели являются предпочтительными по сравнению с коллекторными для большинства космических применений. Если все же применяются коллекторные двигатели, то их квалификация для космических применений является дорогой и затратной по времени.**

## Достоинства и недостатки коллекторных двигателей постоянного тока

Достоинства	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"><li>• Низкая стоимость</li><li>• Простота исполнения</li><li>• Доступность</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Стирание щеток</li><li>• Образование искрения и электрической дуги в щеточно-коллекторном узле</li><li>• Электромагнитные помехи</li><li>• Механические шумы</li><li>• Короткий срок службы двигателя</li><li>• Низкая эффективность</li><li>• Ограниченная скорость</li><li>• Ограниченные тепловые характеристики при использовании в вакууме</li></ul>

## Достоинства и недостатки бесколлекторных двигателей постоянного тока

Достоинства	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"><li>• Высокие скорости (до 100 000 оборотов в минуту)</li><li>• Высокие моменты на высоких скоростях</li><li>• Момент на выходе приблизительно в два раза больше по сравнению с коллекторным двигателем того же габарита</li><li>• Обмотки на статоре вместо обмоток на роторе, - улучшают процесс рассеяния тепла</li><li>• Отсутствуют щетки, поэтому срок работы двигателя ограничивается только сроком службы подшипников</li><li>• Высокая эффективность</li><li>• Пригоден для работы в вакууме</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Более высокая стоимость электроники</li><li>• Более сложное исполнение двигателя</li></ul>



**Область применения дает разработчику информацию о предполагаемом использовании и может предполагать оптимизацию существующего двигателя**

- номинальная скорость (без нагрузки), максимальный крутящий момент (при нулевой скорости) и «рабочая точка» используются для создания кривой зависимости момента от скорости. Кривая зависимости момента от скорости используется для определения рабочей зоны двигателя
- зная величину скорости без нагрузки и доступное напряжение, разработчик может определить основные константы.

$K_M$  – постоянная момента

$K_V$  – постоянная скорости

- максимальный крутящий момент и «рабочая точка» позволяют определить размер двигателя
- цикл нагрузки, температура, расчетные характеристики по отводу тепла и размер двигателя используются для определения нагрева двигателя

Оптимизация двигателя выполняется в соответствии с требованиями заказчика

- Шаговые двигатели – это особый случай бесколлекторных двигателей. Конструкция бесколлекторных двигателей идентична шаговым двигателям, за исключением отсутствия датчиков положения. Возбуждение подается на обмотки последовательно, создавая вращающееся поле и обеспечивая крутящий момент
- Достоинством является простота и совместимость с цифровыми схемами управления
- Недостатком является большое потребление энергии вне зависимости от нагрузки и большая пульсация момента (см. слайд 2)

Так как **бесколлекторные** и **шаговые двигатели** являются наиболее предпочтительными для космических применений, то следующая таблица содержит более подробную информацию по применению и параметрам,

Применения	Требования	Комментарии
<u>Центрифуги</u>	<p>Непосредственное управление ускорением, замедлением и скоростью. Вращение в обе стороны. Высокие скорости (от 5000 до 100 000 об/мин)</p> <p>Конструкции, устойчивые к экстремальным нагрузкам центрифуги</p>	<p>Используются в промышленности, науке, медицине и космических экспериментах, как наиболее экономически выгодный способ разделения жидких компонентов по плотности</p>
<u>Вентиляторы</u>	<p>Высокоточная регулировка скорости, переменная скорость, постоянная нагрузка, низкий уровень шума, продолжительное время работы</p>	<p>Используются в системах кондиционирования воздуха и системах жизнеобеспечения</p>

Применения	Требования	Комментарии
<u>Насосы</u>	Высокоточная регулировка скорости, низкая потребность в обслуживании, высокий стартовый момент, цепи ограничения по току и переменная скорость	Применяются в системах управления климатом, топливных системах, системах управления вектором силы тяги
<u>Актуаторы для позиционирования в серво роботах</u>	Точность, стабильность, работа в четырех квадрантах, низкая неравномерность момента, вращение в обоих направлениях, время стабилизации, работа в тяжелых условиях эксплуатации	Применяется в космических роботизированных руках, манипуляторах и актуаторах

Применения	Требования	Комментарии
<p><u>Лазерные сканеры</u> <u>Высокопрецизионная оптика и прочие применения для подстройки</u></p>	<p>Скорость более 1000 об/мин 4-х полюсная схема Низкая пульсация момента Точное управление скоростью</p>	<p>Разработчик должен обсудить вид нагрузки с производителем двигателя. В применениях, где требуются точные значения скорости, - принимается во внимание момент инерции ротора.</p>
<p><u>Винтовые передачи</u> <u>Перемещения с помощью гаек</u></p>	<p>Высокий пиковый момент Малое время ускорения Динамическое торможение</p>	<p>Выбор двигателя для работы на высоких моментах предполагает особый учет тока, уровня нагрева, типа управления и способов обратной связи.  Используется в космических инструментах для работы за бортом.</p>

Применения	Требования	Комментарии
<p><u>Лентопротяжный механизм</u> <u>Привода вектора силы тяги</u></p>	<p>Высокий стартовый момент. Плавное движение.</p>	<p>Получение низких скоростей, до 100 об/мин. Обычно требует до 12 или более полюсов и плоскую конструкцию. Может использоваться для записи результатов экспериментов, проводимых в космосе.</p>

## Как правило, разработчику системы требуются следующие параметры двигателей

- область применения
- способ подключения
- скорость без нагрузки
- максимальный момент
- рабочая точка
- источник питания
- внешний профиль (объем)
- окружающая среда
- рабочий цикл
- вес
- срок службы
- пульсация момента
- управляемость
- рассеивание тепла

## Техническая целесообразность

Выбор соответствующего двигателя для данного применения обеспечивает более надежную работу при минимальном весе и энергопотреблении и обеспечивает заданные параметры теплоотдачи.

## Последствия неправильного выбора

Поломка или несоответствующий выбор электродвигателя могут быть причиной сокращения продолжительности миссии, преждевременного прекращения работы или экстремальных случаев прекращения миссии.

**Решение такой сложной задачи, как выбор двигателя для космических применений может занять продолжительное время.**

Сотрудничество с ПЭК существенно ускорит решение:

- Вы не тратите массу времени на поиск производителя двигателей, решающих ваши задачи
- Стоимость двигателя при работе через ПЭК или при работе с любым производителем изменяется незначительно ввиду того, что ПЭК заключает прямые договора с производителями и получает дистрибьюторскую скидку.
- ПЭК обладает 20-летним опытом поставки электронных компонентов и выполняет взятые на себя обязательства в части поставок двигателей с момента расчета двигателя, занесения его в КД до серийных поставок

**Компания ПЭК обладает лучшим в России опытом в вопросах выбора и поставки двигателей для космических применений и наши специалисты будут рады оказать Вам содействие.**



## Спасибо за внимание



Санкт-Петербург, Россия

Тел. +7 (812) 448-87-77

[www.pes.ru](http://www.pes.ru) | [пэк.рф](http://пэк.рф)

[pes@pes.ru](mailto:pes@pes.ru)

Карев Павел +7 (950) 023-73-89

[PKarev@pes.ru](mailto:PKarev@pes.ru)