

Электродвигатели для отечественной робототехники и беспилотных аппаратов

Е. Дудоров, к.т.н.¹, Д. Кувшинов²

УДК 621.3 | ВАК 2.2.2

До 90% разрабатываемых сегодня робототехнических комплексов (РТК) и беспилотных авиационных систем (БАС) содержат электродвигатель как тяговое устройство. Тому есть несколько причин – это быстрое прототипирование, относительно низкая стоимость, удобство в управлении. Выбор подходящего решения для использования в качестве тягового электродвигателя или генератора во многом определяется условиями эксплуатации и требуемой механической характеристикой. В статье рассматриваются электродвигатели различных типов для БАС и робототехники, разрабатываемые в АО «НПО «Андроидная техника».

Из множества существующих электродвигателей наиболее изучены и чаще всего используются четыре: двигатели постоянного тока, асинхронные двигатели, синхронные электродвигатели на постоянных магнитах, синхронные реактивные двигатели. Основные параметры электрических машин, которые необходимо учитывать: мощность электродвигателя, номинальная частота вращения, момент электродвигателя, момент инерции ротора, номинальное напряжение, электрическая постоянная времени, механическая характеристика, коэффициент полезного действия (КПД).

С возросшим интересом к электрическому транспорту целесообразно выбрать наиболее передовые решения в области электропривода. По прогнозам аналитиков, в ближайшие 5–10 лет каждый автомобиль в продаже будет гибридный или полностью на электроприводе. По версии Bloomberg New Energy Finance стоимость электромобилей с учетом государственных субсидий станет ниже, чем у обычных автомобилей уже в 2025–2030 годах, а доля продаж к 2050 году может достичь 65–70%. Несмотря на ясность требований автомобильной промышленности, выбор наиболее подходящего электродвигателя для этой цели все еще остается проблемой. Большинство современных коммерческих электромобилей оснащены либо асинхронным двигателем, либо двигателем на постоянных магнитах.

Синхронные бесколлекторные электродвигатели с постоянными магнитами находят применение не только

в автомобилестроении, но и в других отраслях промышленности, требующих приводных решений, в том числе: в бытовой технике, в масштабных радиоуправляемых моделях, в станках числового программного управления, в опорно-поворотных устройствах, в беспилотных авиационных системах и др.

Особенно часто такие двигатели используются в отраслях, где важны компактные размеры и низкая потребляемая мощность. Благодаря отсутствию технологических ограничений, электродвигатели этого типа могут быть изготовлены практически любого размера.

Синхронные бесколлекторные электродвигатели с постоянными магнитами являются наиболее перспективными в диапазоне малых и средних мощностей, благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам. Такие электродвигатели отличаются простотой конструкции, отсутствием потерь на возбуждение и наличием высокой стабильной скорости вращения ротора, что выделяет их из прочих электрических машин и обеспечивает им применение в системах автоматизации, приводах подачи станков, прецизионных системах слежения, а также в системах, где стабильность скорости является первоочередным требованием, предъявляемым к технологическому процессу.

АО «НПО «Андроидная техника» с 2018 года разрабатывает собственные решения в области создания синхронных бесколлекторных электродвигателей серии AT Drive (рис. 1а) и аксиальных бесколлекторных электродвигателей AX Drive (рис. 1б).

Эти электродвигатели хорошо себя зарекомендовали при применении в современных РТК «Маркер», в коллаборативных манипуляторах, опорно-поворотных устройствах, системах точного позиционирования.

¹ АО «НПО «Андроидная техника», исполнительный директор.

² АО «НПО «Андроидная техника», руководитель отдела разработки.

Синхронные бесколлекторные электродвигатели являются основой линейки сервоприводов «ХАРЗА» производства ООО «ИнноДрайв». Сервоприводы применяются в широком круге систем и изделий для решения задач высокоточного позиционирования, в том числе в экстремальных условиях, таких как высокие и низкие температуры, агрессивные среды, высокая влажность.

В развитие технологий производства электродвигателей с радиальным и аксиальным магнитными потоками и поиск оптимальных конструктивных решений для них включается всё больше производственных компаний в мире, также принимают активное участие и многие мировые университеты. Наблюдается рост публикационной активности и выполняемых исследований в области новых материалов, оптимизации дизайна конструкции электродвигателей.

В условиях санкционных ограничений, со стороны стран, обладающих передовыми технологическими разработками, возникает необходимость наращивания научно-технического и технологического заделов по наиболее перспективным направлениям развития электродвигателестроения. Одним из таких перспективных направлений является разработка и производство электродвигателей для БАС.

Применение электродвигателей на БАС обусловлено такими причинами, как:

- высокий коэффициент полезного действия (в случае применения бесколлекторного двигателя фактически может достигать 95%);
- синхронные электродвигатели с постоянными магнитами имеют значительно меньшую массу и габариты, чем аналогичные по характеристикам двигатели внутреннего сгорания;
- не требуют применения топлива для обеспечения функционирования, что расширяет возможности конструирования БАС, так как не нужно предусматривать размещение в корпусе БАС топливопроводов;
- система питания синхронных электродвигателей с постоянными магнитами (аккумуляторная батарея менее взрывоопасна, чем аналогичная система с двигателем внутреннего сгорания);
- низкий уровень теплового излучения, что критически важно для полетных целей БАС и исключения (снижения) возможности обнаружения тепловым радаром и расширяет возможности применения БАС.

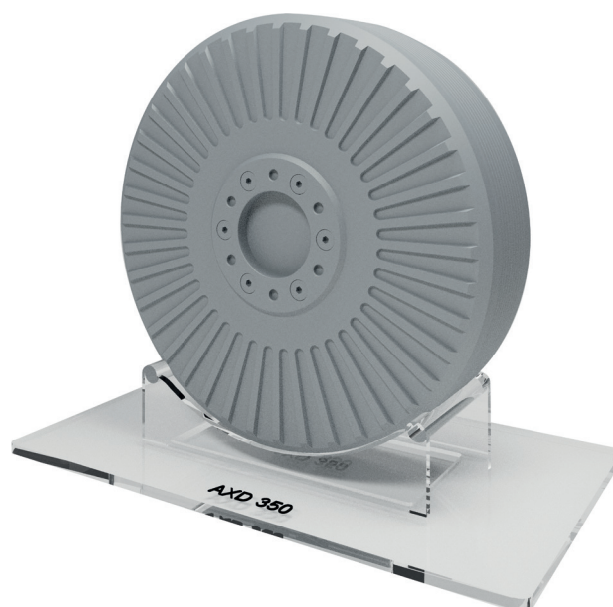
По оценкам Drone Industry Insights, опубликованным в апреле 2022 года, мировой рынок БАС вырастет до 41,3 млрд долл. к 2026 году. В то же время объем российского рынка БАС к 2026 году, согласно распоряжению Правительства РФ от 21 июня 2023 года №1630-р, составит 50 млрд руб. При этом примерный объем рынка

двигателей для БАС достигнет 16 млрд руб. Разработка и массовое производство собственных российских электродвигателей для БАС становится актуальным. Однако, в отличие от бесколлекторных электродвигателей радиального и аксиального типа, которые преимущественно производятся ручным и полуавтоматическим способом, производство электродвигателей БАС требует серьезного технологического оснащения. В противном случае производство электродвигателей БАС экономически нецелесообразно.

В «НПО «Андроидная техника» с 2023 года ведется собственная разработка электродвигателей БАС под маркой АТБ. В настоящее время разработано и испытано три типа электродвигателей БАС: АТБ-3115, АТБ-8009 и



а)



б)

Рис. 1. Бесколлекторные электродвигатели производства АО «НПО «Андроидная техника»: а – радиального типа (AT Drive); б – аксиального типа (AX Drive)



а)

Рис. 2. Электродвигатели БАС производства АО «НПО «Андроидная техника»: а – АТБ-3115; б – АТБ-13715

АТБ-13715 (рис. 2). Основные характеристики разработанных АТБ-электродвигателей приведены в табл. 1, разрабатываемых моделей – в табл. 2.

Разрабатываемые электродвигатели спроектированы таким образом, чтобы присоединительные размеры позволяли выполнить замену зарубежного электродвигателя без применения дополнительных переходников или адаптеров. Механическая характеристика электродвигателя близка к аналогам, однако за счет оптимизации конструкции удастся снизить массу и повысить КПД. Также механическая характеристика электродвигателя может быть скорректирована таким образом, чтобы добиться наибольшего КПД при использовании совместно с винтом.

Как правило, электродвигатели для БАС способны работать в пиковом режиме ограниченное время, так как под нагрузкой температура обмоток достигает уровня 95–115°C и более в зависимости от применяемых материалов. Ниже представлен анализ электродвигателей производства T-motor и BrotherHobby.



б)

Электродвигатели T-motor демонстрируют по показателю соотношения тяги и затраченной энергии эффективность на порядок выше, чем BrotherHobby.

На рис. 3–4 представлена средняя область диапазона характеристик рассмотренной линейки электродвигателей с диаметром статора 28–42 мм.

На рис. 4 видно смещение мощности BrotherHobby в зону низкого КПД. Это означает, что производитель указывает завышенные значения тока (пиковой мощности). Серая закрашенная область для T-motor демонстрирует более высокий показатель тяги во всём диапазоне доступной мощности и лучшие характеристики в диапазоне 2,75–5,00 г/Вт.

Таблица 1. Основные характеристики разработанных электродвигателей для БАС серии АТБ

Характеристики	АТБ 3115-640	АТБ 8009-100	АТБ 13715-100
Номинальное напряжение, В	24	48	60
Пиковая мощность, Вт	1150	1450	9900
Обороты холостого хода, об/мин	13500	5300	5200
Пиковый ток, А (RMS)	43,2	31	170
Сопротивление фаза-фаза, мОм	60	150	20
Масса, г	120	316	1800
Размеры, мм	∅ 37,5×35	∅ 87,3×30	∅ 147×60
Пиковая тяга, г	3700	9100	36500
Конфигурация	12N14P	36N42P	36N42P
АКБ	4-8S	12S	12-24S
Аналог	-	U8II PRO KV100	T-motor U15 KV100

Таблица 2. Основные характеристики разрабатываемых электродвигателей для БАС серии АТБ

Электродвигатель	Аналог	Номинальное напряжение, В	АКБ	Пиковая мощность, Вт	Масса, г
АТБ 5012-280	T-motor U7-V2.0 KV280	24	3-8S	800	328
АТБ 8015-170	T-motor V807 KV170	48	12S	6 800	660
АТБ 9520-160	T-motor V10 KV160	48	14S	7 000	680
АТБ 2812-900	T-motor VELOX V2812 / BrotherHobby Avenger 2812 V2	25,2	4-8S	1 013,3	78,6
АТБ 5013-270	MN501-S IP45 Navigator Type UAV Multi-Motor KV240	48	6-12S	1 200	170
АТБ 8015-100	T-motor P80III100KV	48	6-12S	2 800	650
АТБ 8017-170	T-MOTOR V807 KV170	48	6-12S	6 800	1 000
АТБ 8220-100	Hobbywing Xrotor X8	48	6-12S	2 746	<1 000
АТБ 2826-1100	T-motor AT2826 KV1100	12	3-4S	1 100	175
АТБ 3520-400	T-motor MN3520 KV400	22,2	4-8S	1 140	194
АТБ 4125-250	T-motor AT4125 KV250	48	6-12S	2 200	350
АТБ 7224-190	T-motor AT7224 40CC KV190	48	10-12S	6 000	780

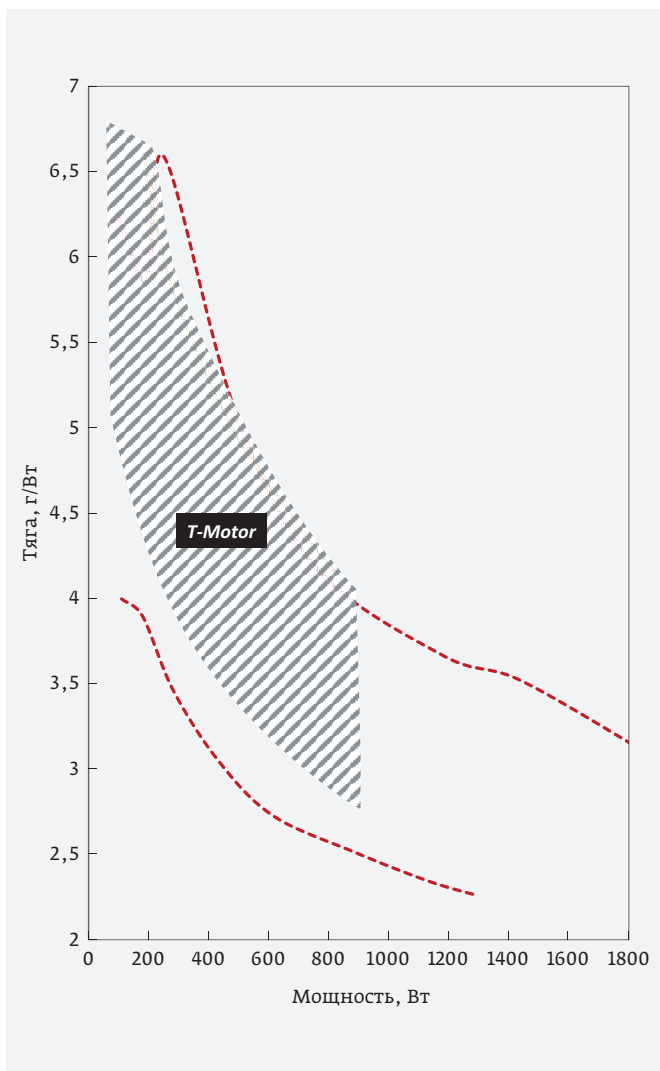


Рис. 3. Зависимость тяги от затраченной мощности электродвигателей мощностью до 1800 Вт (пунктирной линией показаны пределы характеристик электродвигателей BrotherHobby)

Значительная часть мощности BrotherHobby теряется на нагрев обмоток статора и не участвует в полезной работе.

По результатам стендовых испытаний было установлено, что электродвигатели BrotherHobby могут работать в пиковом режиме в течение 10–30 с, вместо заявленных производителем в паспорте 60 с. Кроме того, фактическая температура обмоток составляла 115–120 °С.

Четыре года назад АО «НПО «Андроидная техника» выбрало курс на локализацию производства высокотехнологичных решений и создания отечественных компонентов робототехники. С февраля 2022 года предприятие в сроки от 3 до 5 мес. стало разрабатывать уникальные электродвигатели, которые заменили импортные аналоги. За период 2022–2023 годов было разработано 18 новых типоразмеров двигателей.

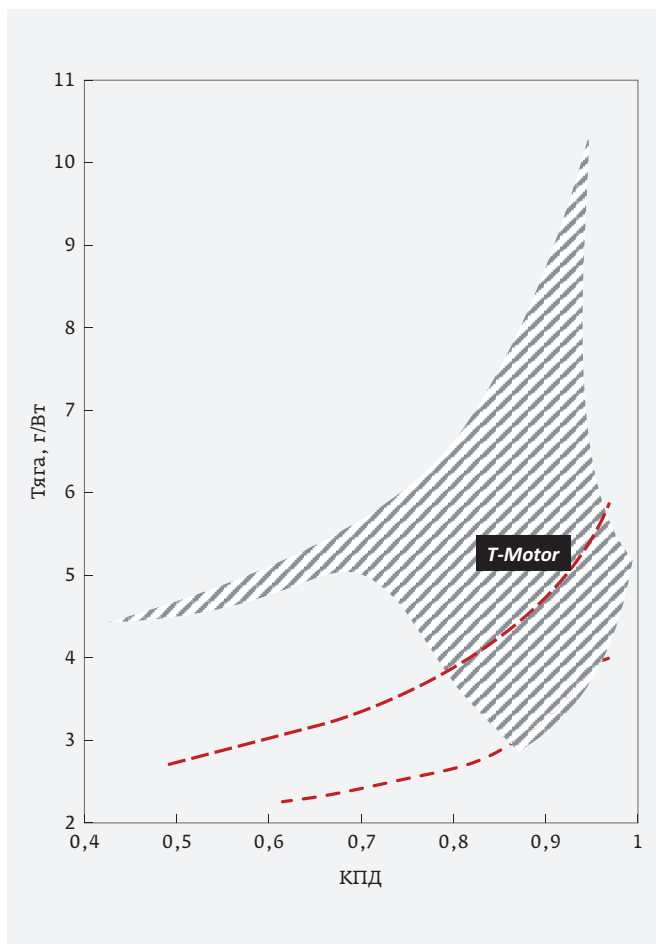


Рис. 4. Соотношение тяги и КПД электродвигателей мощностью до 1800 Вт (пунктирной линией показаны пределы характеристик электродвигателей BrotherHobby)

ООО
СМП

ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН
www.SMD.ru

электронные
для поверхностного
монтажа

КОМПОНЕНТЫ
 КОМПОНЕНТЫ
 КОМПОНЕНТЫ

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- Разборные металлические EMI SMD экраны
- Кварцевые генераторы 0532 на частоты до 125 МГц

Москва, Ленинградский пр., 80 к. 32; e-mail: sale@smd.ru
Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780



22-31
десятилетие
науки и технологий

23—26 апреля 2024

СВЯЗЬ

36-я международная
выставка «Информационные
и коммуникационные технологии»

Экспозиция «Навитех» —
«Навигационные системы, технологии и услуги»

www.sviaz-expo.ru



Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



12+
Реклама

Организатор



При поддержке



Под патронатом



В рамках

