

Новые моментные вентильные электродвигатели для прецизионных электроприводов технологических роботов и металлообрабатывающего оборудования

// New BLDC torque motors for precision electric drives of the technological robots and metal-cutting equipment //

Волокитина Е.В., к.т.н., Власов А.И., к.т.н., Опалев Ю.Г.,
ОАО «Электропривод» г. Киров

В статье представлены результаты разработки серии моментных электродвигателей типа ДБМ производства ОАО «Электропривод». Приведено описание конструкции электродвигателей, технические характеристики и результаты сравнительного анализа с зарубежными образцами.

Ключевые слова: вентильный электродвигатель постоянного тока, технологический робот, удельный момент, импортозамещение.

Высокие требования в области регулируемых электроприводов (ЭП), поставленные перед отечественной промышленностью на ближайшие годы, определяют, помимо совершенствования уже выпускаемых изделий, создание новых с более высокими качественными показателями.

ЭП является неотъемлемой частью многих агрегатов и комплексов, используемых в различных отраслях науки и техники. Научно-технический

In the article the results of development of a torque motors series ДБМ manufactured by JSC «Electroprivod» are presented. The description of the electric motor construction, specifications and comparative analysis results with foreign samples are considered.

Keywords: brushless DC (BLDC) motor, technological robot, specific moment, import substitution.

прогресс, автоматизация и комплексная механизация технологических и производственных процессов определяют постоянное совершенствование и развитие ЭП. Электропривод с вентильным электродвигателем постоянного тока (ВДПТ) является одним из самых перспективных. Это объясняется его устойчивостью к высоким перегрузкам, большой гибкостью и многофункциональностью, программируемостью, возможностью

построения высококачественных систем управления, хорошими регулировочными свойствами, разнообразием конструкций и схем построения, бесконтактностью, возможностью работы в тяжёлых условиях эксплуатации, большим сроком службы и высокой надёжностью.

За последние десятилетия ВДПТ заняли прочное положение в производствах ведущих зарубежных электромашиностроительных фирм («Siemens», «Bosh», «General Electric», «Fanuc», «Ansaldo», «AEG», «TG Drives» и др.). Затянувшийся промышленный кризис в России привел к значительному отставанию отечественного электромашиностроения в данной области, хотя определенные успехи в разработке и промышленном освоении ВДПТ были достигнуты [1].

Упомянутое отставание привело к тому, что большинство отечественных фирм, в том числе и ПТОО ОАО «АВТОВАЗ», в прецизионные ЭП технологических роботов устанавливает ВДПТ зарубежных фирм «Siemens»

Таблица 1. Технические характеристики ВДПТ фирм «Siemens» и «AEG».

Обозначение	Габарит, мм. Длина, ширина, высота	$M_{до}$, Н·м,	M_n , Н·м	n , об/мин	K_T , Н·м/А	Мощность, кВт	m, кг	$I_{до}$, А	Перегрузочная способность	
									по току	по моменту
Siemens IFK6032	179x72x72	1,10	0,8	6000	0,73	0,5	3	1,5	$4,3 \cdot I_{до}$	$4,1 \cdot M_{до}$
AEG KK4EY	196,5x115x115	3,20	2,5	3000	1,12	0,78	6,5	2,7	$2,1 \cdot I_{до}$	$2,2 \cdot M_{до}$
AEG KK53Y	227x142x142	11,0	9,0	3000	1,6	2,8	13	6,7	$2,4 \cdot I_{до}$	$1,6 \cdot M_{до}$
AEG KK55Y	275x142x142	16,0	12,0	3000	1,26	3,8	16	12,8	$1,8 \cdot I_{до}$	$1,8 \cdot M_{до}$
Siemens IFK6100	235x192x192	18,0	12,0	3000	1,4	3,8	23	12,8	$3 \cdot I_{до}$	$3,4 \cdot M_{до}$
AEG KK65Y	312x190x190	27,0	21,0	3000	1,3	6,6	30	19,7	$2,4 \cdot I_{до}$	$2,2 \cdot M_{до}$
AEG KK67Y	362x190x190	36,0	26,0	3000	1,27	8,5	44	26,9	$2,4 \cdot I_{до}$	$2,2 \cdot M_{до}$

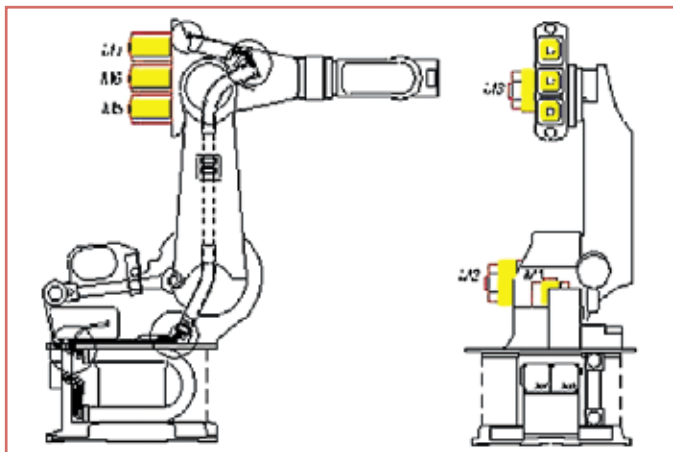


Рис. 1. Схема расположения ЭД в технологическом роботе (M1 – M6 – электродвигатели).



Рис. 2. Бескорпусной ЭД 1FK6 фирмы «Siemens».

и «АЕГ», технические характеристики которых приведены в таблице 1 [2, 3].

В рамках реализации государственного контракта «Разработка и освоение производства гаммы отечественных универсальных технологических роботов для массовых автоматизированных производств гражданской машиностроительной продукции» (№ 7410.0810000.05.В08 от 11.12.2007 г.) ОАО «Электропривод» (г. Киров) по техническому заданию ПТОО ОАО «АВТОВАЗ» разработаны ВДПТ серии ДБМ, предназначенные для работы в составе ЭП с высокими динамическими характеристиками и точностью позиционирования, удовлетворяющих требованиям исполнительных механизмов универсальных технологических роботов и другого прецизионного металлообрабатывающего оборудования.

ВДПТ в составе ЭП промышленного робота должны удовлетворять специфичному комплексу требований: высокая плавность и точность хода, высокий удельный момент, низкое энергопотребление и уровень шума,

простота конструкции и минимальная стоимость. Наиболее жесткие требования предъявляются к быстродействию, перегрузочной способности электродвигателя (ЭД), массогабаритным показателям, экономичности, надежности и ресурсу.

Эта специфика определяется распределенным в настоящее время модульным принципом построения роботов из ограниченного числа относительно независимых унифицированных устройств-модулей и необходимостью размещения электродвигателей непосредственно в сочленениях конструктивной схемы робота (рис. 1).

ЭД серии ДБМ имеют класс нагревостойкости изоляции F по ГОСТ 8865-93, встроенный резольвер, безынерционный магнитоэлектрический тормоз и снабжены датчиками температурной защиты. Силовые и сигнальные цепи разделены и выведены на специальные угловые поворотные соединители.

Степень защиты ЭД IP64 по ГОСТ 14254-96. Со стороны выходного конца вала степень защиты обеспечивается при установке ЭД на объекте.

Номинальные режимы работы ЭД S3 – S8 по ГОСТ 183-74.

ЭД допускают работу при любом положении в пространстве и выдерживают перегрузку по моменту до $5 \cdot M_{до}$, по току до $5 \cdot I_{до}$. Следует отметить, что зарубежные ЭД (таблица 1) выдерживают перегрузку по моменту от 1,6 до $4 \cdot M_{до}$, по току от 1,8 до $4 \cdot I_{до}$ [2, 3].

ЭД фирм «Siemens» и «АЕГ» (таблица 1) представляют собой бескорпусные электрические машины (рис. 2), продольная жесткость которых обеспечивается сварными швами по внешней поверхности и стяжными шпильками в углах листов статора. Опыт эксплуатации подобных ЭД показал, что жесткость бескорпусной конструкции недостаточна, особенно для ЭД с длиной пакета порядка 140 мм [1, 4].

ЭД серии ДБМ имеют корпусное исполнение, что позволило значительно повысить их продольную жесткость (рис. 3).

Основные параметры ЭД серии ДБМ приведены в таблице 2. Нагрузочная диаграмма ВДПТ в составе технологического робота показана на рис. 4.



Рис. 3. Отрезок серии электродвигателей ДБМ.

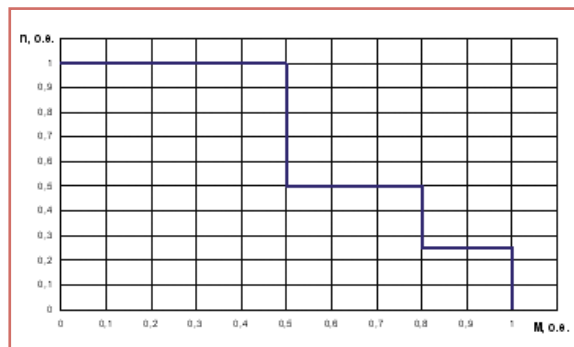


Рис. 4. Нагрузочная диаграмма ВДПТ серии ДБМ.

Таблица 2. Основные параметры ЭД серии ДБМ.

Наименование параметра, единица измерения	ДБМ72-1,1-6	ДБМ115-3,2-3	ДБМ142-11-3	ДБМ142-18-3	ДБМ192-18-3	ДБМ192-27-3	ДБМ192-36-3
Длительный момент на валу $M_{до}$, Н·м, не менее	1,1	3,2	11,0	18,0	18,0	27,0	36,0
Частота вращения при $M_{до}$, об/мин, не менее	6000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Потребляемый ток $I_{до}$ при $M_{до}$, А	1,7	2,2	8,4	13,4	13	19	25
Момент инерции ротора, кг·см ²	0,71	5,48	33,08	46,78	104,24	141,60	176,44
Перегрузочная способность по току	$5 \cdot I_{до}$	$5 \cdot I_{до}$	$5 \cdot I_{до}$	$5 \cdot I_{до}$	$5 \cdot I_{до}$	$5 \cdot I_{до}$	$5 \cdot I_{до}$
Перегрузочная способность по моменту	$5 \cdot M_{до}$	$5 \cdot M_{до}$	$5 \cdot M_{до}$	$5 \cdot M_{до}$	$5 \cdot M_{до}$	$5 \cdot M_{до}$	$5 \cdot M_{до}$
Габаритные размеры D×L, мм	72×175	115×187	142×226	142×264	192×235	192×265	192×295
Масса ЭД с тормозом, кг	3,0	7,0	14,2	17,7	23,8	28,6	33,4

Для оценки технического уровня и сравнительного анализа зарубежных ЭД и ДБМ воспользуемся понятием удельного момента q^* (Н·м/кг), а также проведем сравнение по перегрузочной способности (таблицы 1 и 2). Удельный момент представляет собой отношение номинального момента $M_{до}$ к массе ЭД G [1]

$$q^* = M_{до} / G \quad (1)$$

В таблице 3 и на рис. 5, в соответствии с формулой (1), представлены значения удельного момента ЭД серии ДБМ в сравнении с лучшими зарубежными образцами фирм «Siemens» и «AEG» при перегреве обмоток статора на 100°C. На рис. 6 показано сравнение ЭД по перегрузочной способности.

Из анализа данных таблицы 2 и рис. 5 следует, что разработанные отечественные моментные ВДПТ серии ДБМ по удельному моменту q^* прак-

Тип электродвигателя	Удельный момент, Н·м/кг	Зарубежные образцы			
		обозначение	$M_{до}$, Н·м	m , кг	удельный момент, Н·м/кг
ДБМ72-1,1-6	0,367	Siemens IFK6032	1,1	3,0	0,367
ДБМ115-3,2-3	0,457	AEG KK4EY	3,2	6,5	0,492
ДБМ142-11-3	0,775	AEG KK53Y	11,0	13,0	0,846
ДБМ142-18-3	1,07	AEG KK55Y	16,0	16,0	1,000
ДБМ192-18-3	0,756	Siemens IFK6100	18,0	23,0	0,783
ДБМ192-27-3	0,944	AEG KK65Y	27,0	30,0	0,900
ДБМ192-36-3	1,08	AEG KK67Y	36,0	44,0	0,818

тически не уступают зарубежным ЭД фирм «Siemens» и «AEG», а в большинстве случаев превосходят их. Из рис. 6 следует, что ЭД серии ДБМ значительно превосходят указанные ЭД зарубежного производства по перегрузочной способности.

Образцы ЭД серии ДБМ для проверки были установлены в ро-

боты различной грузоподъемности TUR15 – TUR350, разработанные специалистами ПТОО ОАО «АВТОВАЗ», взамен зарубежных образцов ЭД (рис. 7). Отечественные ЭД позволили выполнить программу испытаний роботов в полном объеме и обеспечили плавную, устойчивую, бесшумную работу.

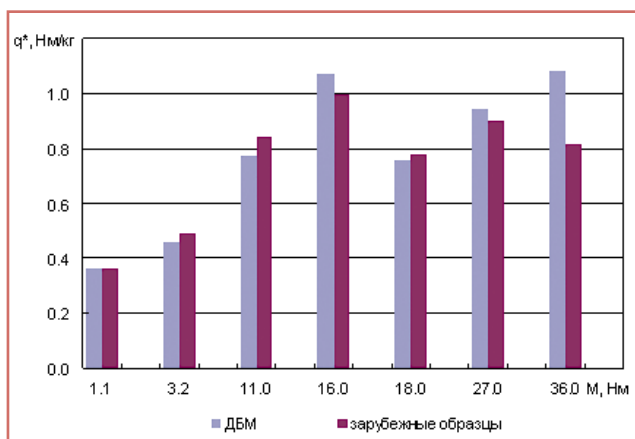


Рис. 5. Сравнение ЭД серии ДБМ с зарубежными образцами по удельному моменту.

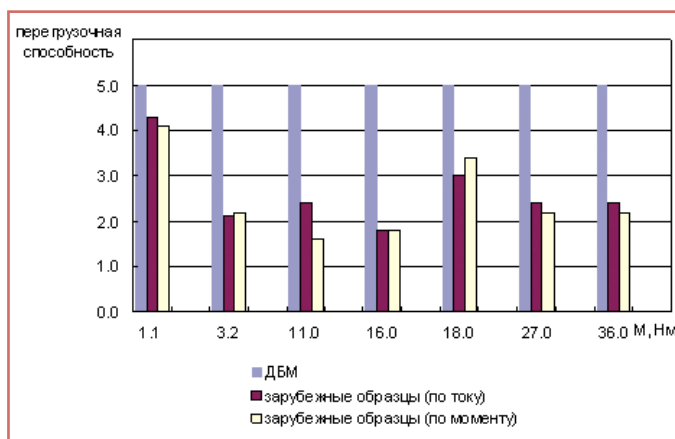


Рис. 6. Сравнение ЭД серии ДБМ с зарубежными образцами по перегрузочной способности.



Рис. 7. Технологический робот TUR 15 с ЭД серии ДБМ.

В настоящее время в ОАО «Электропривод» завершены исследовательские испытания опытных образцов изготовленных ЭД и проводится подготовка серийного производства ДБМ.

Новые отечественные высокомоментные вентильные электродвигатели могут обеспечить импортозамещение и ликвидировать зависимость российских изготовителей технологических роботов от зарубежных производителей, а также комплектование вентильным электродвигателем нового и модернизируемого механообрабатывающего оборудования с числовым программным управлением.

ОАО «Электропривод» ставит целью промышленное освоение серии отечественных ВДПТ, не уступающих по своим техническим характеристикам зарубежным аналогам, но имеющих более низкую цену.

ОАО «Электропривод» считает целесообразным продолжать разработки в области импортозамещения в следующих направлениях:

- комплектование отечественными ВДПТ нового и модернизируемого механообрабатывающего оборудования с числовым программным управлением;

- разработка универсального ряда отечественных сервоусилителей трех-четырёх типов мощностей для управления технологическими роботами и современным механообрабатывающим оборудованием.

По второму направлению, в рамках НИР, разработаны опытные образцы преобразователей, которые в настоящее время находятся в стадии исследовательских испытаний.

Выводы

1. Приведены технические параметры опытных образцов ВДПТ серии ДБМ отечественного производства, разработанных в ОАО «Электропривод».

2. Дан анализ и показано, что электродвигатели серии ДБМ по удельному моменту в большинстве случаев превосходят лучшие зарубежные аналоги и могут конкурировать с последними на мировом рынке.

3. Показано, что ЭД серии ДБМ значительно превосходят ЭД зарубежного производства по перегрузочной способности.

Литература:

1. Жуков В.П. Высокомоментные вентильные электродвигатели серии 5ДВМ./ Жуков В.П., Нестерин В.А.// Электротехника. – 2000. – №6. – С.19-21.
2. www.aeg.com.
3. Siemens. SIMODRIVE 611, SIMOVERT MASTERDRIVES MC. 1FK6 Synchronous Motors.
4. Коротков Г.С., Емешев А.М., Кириллов С.В. и др. Разработка отрезка серии вентильных электродвигателей с редкоземельными магнитами// Электротехника. – 1989. – №11. – С. 65-67.

Волокитина Елена Владимировна – в 1981 году окончила Кировский политехнический институт по специальности «Электромеханика». В 2006 году защитила кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование и разработка быстродействующего вентильного электропривода органов управления новых самолетов». Доцент кафедры «Электрические машины и аппараты» Вятского государственного университета. Опыт работы в области вентильных электродвигателей – 25 лет, авиационного электропривода – 15 лет. В настоящее время работает ведущим конструктором, руководителем проекта ОАО «Электропривод». Автор 57 научных трудов. Награждена Дипломом лауреата Всероссийского конкурса «Инженер года-2011» по версии «Профессиональные инженеры».

Власов Андрей Иванович – родился в 1979 году. В 2002 году окончил Вятский государ-

ственный университет (ВятГУ) по специальности «Электромеханика». Кандидат технических наук. В 2010 году защитил диссертацию по теме: «Магнитоэлектрический стартер-генератор в системе электроснабжения самолетов нового поколения». 7 лет работает в области авиационных электрических машин. В настоящее время работает начальником конструкторского бюро ОАО «Электропривод». Имеет 16 научных трудов.

Опалев Юрий Геннадьевич – родился в 1980 году. В 2003 году окончил Вятский государственный университет (ВятГУ) по специальности «Электромеханика». 7 лет работает в области авиационных электрических машин. В настоящее время работает инженером-конструктором I категории ОАО «Электропривод», аспирант Чувашского государственного университета. Имеет 11 научных трудов.

Volokinina Elena – in 1981 she graduated from Kirov Polytechnic Institute, specialization is «Electromechanics». In 2006 she defended a candidate thesis, the theme is: «Research and development of quick-operating valve electric drive of new plains controllers». She is an associate professor of «Electric machines and equipment» department in Vyatskiy State University. Her job experience in the sphere of valve electric drivers is 25 years, aviation electric drivers – 15 years. At present she is working as a leading designer, project manager in JSC «Electroprivoд». She is the author of 57 scientific works. She is awarded to the laureate diploma of All-Russian competition «Engineer of the year 2011» according to the version «Professional Engineers».

Vlasov Andrey – was born in 1979. In 2002 he graduated from Vyatskiy State University (VyatGU), specialization is «Electromechanics». He is a candidate of Engineering. In 2010 he defended a thesis, the theme is: «Magnetolectric starter- generator in the New generation plain power system». At present he is working as the Head of the Design Department in JSC «Electroprivoд». He is the author of 16 scientific works.

Opalev Yury – was born in 1980. In 2003 he graduated from Vyatskiy State University (VyatGU), specialization is «Electromechanics». He has 7-year job experience in the sphere of aviation electric machines. At present he is working as a design engineer of the first category in JSC «Electroprivoд», attends graduate courses in Chuvash State University. He is the author of 11 scientific works.