

УДК 62.83

Л. Г. Лимонов, канд. техн. наук

### СРАВНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

**Аннотация.** Приведены результаты расчетов коэффициента отношения массы электродвигателя к номинальному вращающему моменту – для серийных электродвигателей переменного и постоянного тока. Этот коэффициент определяет материалоемкость рассмотренных электродвигателей массовых серий различных производителей.

**Ключевые слова:** материалоемкость, асинхронный электродвигатель, синхронный электродвигатель с постоянными магнитами, электродвигатель постоянного тока, масса, номинальный вращающий момент

L. G. Limonov, PhD.

### COMPARISON OF MATERIALS INTENSITY PARAMETERS OF MOTOR DRIVES FOR INDUSTRIAL DRIVES

**Abstract.** The article provides calculation results for characteristic (parameter) defined by the ratio of motor drive mass to the rated rotation moment (torque) for mass produced AC and DC motors. This parameter defines the material intensity of studied mass produced motor drives from various vendors.

**Keywords:** material intensity, asynchronous motor, permanent-magnet synchronous motor, DC motor, mass, rated rotation torque

Л. Г. Лимонов, канд. техн. наук

### ПОРІВНЯННЯ КОЕФІЦІЕНТІВ МАТЕРІАЛОМІСТКІСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРОМИСЛОВИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

**Анотація.** Наведені результати розрахунків коефіцієнта співвідношення маси електродвигуна до номінального обертового моменту – для серійних електродвигунів змінного та постійного струму. Цей коефіцієнт визначає матеріаломісткість розглянутих електродвигунів масових серій різних виробників.

**Ключові слова:** матеріаломісткість, асинхронний електродвигун, синхронний електродвигун з постійними електромагнітами, двигун постійного струму, маса, номінальний обертовий момент

#### Введение

При выборе электродвигателя для реконструкции или при создании нового регулируемого электропривода немаловажную роль имеют массо–габаритные показатели электродвигателя. К ним относятся высота оси вращения, длина, наружный диаметр и полная масса электродвигателя, эти показатели определяют общую материалоемкость электродвигателя. Интегральным показателем материалоемкости электрической машины в определенной степени можно считать общую её массу. В ряде случаев, в частности, при выборе электродвигателя, устанавливаемого на подвижных частях конструкции производственного механизма или используемого для привода транспортных средств, его масса может быть определяющим параметром, существенно влияющим на общую конструкцию машины.

Вопросы, связанные с оценкой материалоемкости собственно современных электродвигателей, в технической литературе в последнее время освещаются мало. Например, в [1] рассмотрены вопросы материалоемкости маломощных (до 170 Н·м) редукторных электроприводов с электродвигателями отечественного производства, а в [2] включен раздел, посвященный оптимизации таких параметров электроприводов циклического действия, как мощность, скорость, передаточное число редуктора и момент инерции.

**Материалы исследования.** В качестве относительной величины для сравнительной оценки материалоемкости электродвигателей можно предложить коэффициент  $g$ , получаемый как отношение

$$g = \frac{G}{M},$$

где  $G$  – полная масса электродвигателя, кг, а  $M$  – номинальный момент электродвигателя, Н·м.

Приведенные ниже результаты расчета величины коэффициента  $g$  выполнены для электродвигателей массовых серий, переменного и постоянного тока, различных производителей [3 – 11]. Они могут быть полезны при конструировании новых или реконструкции существующих электроприводов промышленных механизмов.

Для удобства пользования результаты расчетов сведены в таблицы.

Так, в табл. 1 приведены результаты расчетов коэффициента  $g$  для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором серий 5А, АИР, 5АМ Владимирского электромеханического завода (ВЭМЗ, Россия) и для крановых асинхронных электродвигателей серии АМТК–F Ярославского электромеханического завода (ЯЭМЗ, Россия).

### 1. Двигатели производства России

Производитель, серия	P, кВт	n, об/мин	g, кг/Н·м
ВЭМЗ, 5А, АИР, 5АМ	1,5 – 250	3000	2,8 – 1,48
	1,1 – 200	1500	1,73 – 0,89
	0,75 – 160	1000	1,82 – 0,71
	0,37 – 132	750	2,65 – 0,66
ЯЭМЗ, АМТК-F	5,5 – 500	1500	1,52 – 0,66
	3 – 355	1000	1,5 – 0,64
	7,5 – 250	750	1,27 – 0,64
	6 – 193	600	1,28 – 0,67
	5,5 – 132	500	1,42 – 0,82

Как видно из табл. 1, относительная материалоемкость электродвигателей этих серий снижается с увеличением номинального момента, но мало изменяется при увеличении мощности.

Для сравнения: величина коэффициента  $g$  электродвигателей краново–металлургических серий МТК и МТКН при мощности  $3,5 \div 200$  кВт и скорости от 600 до 1000 об/мин находится в диапазоне значений от 1,98 до 0,58 кг/Н·м.

Результаты расчетов величины коэффициента  $g$  для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором серий K20R, K21R, K25R фирмы VEM motors (Германия) и асинхронных электродвигателей фирмы Siemens (Германия) – серии Simotics SD 1LE1, Simotics SD 1LG6, Simotics SD 1LA6/1LG4 и серии асинхрон-

ных электродвигателей повышенной мощности Simotics N–compact 1LA8 приведены в табл. 2.

### 2. Двигатели производства Германии

Производитель, серия	P, кВт	n, об/мин	g, кг/Н·м
VEM motors, K21R, K22R, K20R, K25R	0,09 – 500	3000	14,6 – 1,5
	0,06 – 500	1500	8,48 – 0,78
	0,09 – 355	1000	5,1 – 0,69
	0,09 – 280	750	5,2 – 0,62
Siemens, Simotics SD 1LE1	3 – 200	3000	3,24 – 1,76
	2,2 – 200	1500	2,22 – 0,89
	1,5 – 160	1000	2,43 – 0,75
	0,75 – 7,5	750	3,23 – 1,24
Siemens, Simotics SD 1LG6	22 – 315	3000	2,39 – 1,35
	18,5 – 315	1500	1,33 – 0,73
	15 – 200	1000	1,19 – 0,74
Siemens, Simotics SD 1LA6	3 – 200	3000	3,43 – 1,58
	2,2 – 200	1500	2,2 – 0,84
	1,5 – 160	1000	2,2 – 0,76
	0,75 – 132	750	2,64 – 0,64
Siemens, Simotics N–compact 1LA8	250 – 1000	3000	1,67 – 1,38
	250 – 1000	1500	0,83 – 0,69
	200 – 800	1000	0,68 – 0,57

Изменения материалоемкости с изменением мощности электродвигателей фирмы VEM motors подобно изменению материалоемкости электродвигателей ВЭМЗ, но в большем диапазоне мощностей. Изменение материалоемкости электродвигателей серий Simotics SD 1LE1, Simotics SD 1LG6 и Simotics SD 1LA6/1LG4 фирмы Siemens также подобно характеру изменений материалоемкости электродвигателей ВЭМЗ.

Как видно из табл. 2, хорошие показатели материалоемкости имеют электродвигатели большой мощности серии Simotics N–compact 1LA8 фирмы Siemens. Их материалоемкость мало изменяется с увеличением мощности электродвигателя, но материалоемкость двухполюсных электродвигателей значительно превышает материалоемкость многополюсных машин.

Далее, в табл. 3 приведены результаты расчета коэффициента  $g$  для трех серий асинхронных электродвигателей фирмы АВВ (Финляндия), М3АА, (станина алюминиевая), М2СА, (станина стальная) и М3\_J, АМЗ (рольганговые). Абсолютные величины коэффициентов  $g$  и характер их изменения у электродвигателей первых

двух из указанных серий электродвигателей фирмы АВВ подобны таким же показателям электродвигателей фирмы Siemens, если учесть диапазон мощности электродвигателей этих серий.

В последнее время разработаны, изготавливаются и находят применение в частотных электроприводах синхронные электродвигатели с постоянными магнитами возбуждения, не требующие специальных источников питания для возбуждения.

### 3. Двигатели производства АВВ

Производитель, серия	P, кВт	n, об/мин	g, кг/Н·м
			диапазон
АВВ, МЗАА	0,18 – 90	3000	6,39 – 1,47
	0,12 – 90	1500	4,88 – 0,69
	0,09 – 55	1000	4,23 – 0,76
	0,09 – 37	750	4,29 – 0,84
АВВ, М2СА	75 – 560	3000	1,99 – 1,4
	75 – 630	1500	0,92 – 0,68
	45 – 500	1000	1,01 – 0,56
	37 – 160	750	0,96 – 0,63
АВВ, М3РР	7 – 55	1000	2,95 – 2,02
	5,5 – 45	750	2,7 – 1,84
	3,3 – 160	345 (23 Гц)	2,63 – 0,96

Результаты расчетов коэффициента  $g$ , выполненных для синхронных электродвигателей с постоянными магнитами серии NT-direct 1FW4 фирмы Siemens (Германия) и серии М3\_J, AMZ фирмы АВВ (Швейцария) приведены в табл.4.

### 4. Синхронные двигатели

Производитель, серия	P, кВт	n, об/мин	g, кг/Н·м
			диапазон
Siemens, NT-direct 1FW4	502 – 1181	800	0,66 – 0,39
	402 – 1256	600	0,62 – 0,35
	284 – 900	400	0,58 – 0,33
	150 – 481	200	0,55 – 0,31
АВВ, М3_J, AMZ	45 – 333	430	0,65 – 0,44
	30 – 220	300	0,68 – 0,47
	20 – 150	220	0,75 – 0,5
	11 – 81	127	0,79 – 0,53

Сравним полученные показатели материалоемкости с аналогичными показателями электродвигателей постоянного тока.

Так, в табл. 5 приведены результаты расчета показателей материалоемкости  $g$  электродвигателей краново–металлургичес-

кой серии Д, разработка СССР.

В следующей табл. 6 показаны результаты расчета показателей материалоемкости  $g$  для электродвигателей некоторых отрезков серии 4П, разработка СССР.

Графики изменения коэффициента  $g$  показали, что величина коэффициента  $g$  электродвигателей серий Д и 4П является монотонно убывающей функцией мощности электродвигателя.

### 5. Краново–металлургические двигатели

Тип	P, кВт	n, об/мин	U, В	g, кг/Н·м
Д12–Д818(т)	2,5–185	1140 – 440	220	4,65–0,93
Д21–Д808(б)	5,5–47	1400 – 770		5,33–1,52
Д21–818(т)	4–185	1200 – 440	440	6,27–0,93
Д22–Д806(б)	7–32	1420 – 950		5,2–1,97

т – тихоходное, б – быстроходное исполнение

### 6. Общепромышленные двигатели

Тип (габарит)	P, кВт	n, об/мин	g, кг/Н·м
4П (450)	500–800	1000–315	0,63–0,41
4П (355)	110–355	1120–200	0,84–0,53
4ПН (280S)	24–110	1500–530	2,22–1,37
4ПФМ (280S)	45–120	1500–600	1,45–1,2
4ПФМ (280M)	45–160	1900–500	1,24–1,12
4ПФМ (280L)	55–200	1700–500	1,13–0,87
4ПФМ (250S)	26–71	1700–600	1,74–1,44
4ПФМ (250M)	42–80	1600–750	1,75–1,25
4ПФМ (250L)	36–110	1600–500	1,32–1,08

Несколько иначе обстоит вопрос материалоемкости для электродвигателей ведущих европейских производителей [3, 4]. Отметим, что в каталогах этих фирм электродвигатели сгруппированы не по величине номинальной мощности или скорости, а по величине крутящего момента. Расчеты показали, что в пределах заданных величин крутящего момента и габарита электродвигателя при изменении мощности коэффициент  $g$  изменяется незначительно, закономерность изменения при этом отсутствует, но с увеличением номинального момента величина  $g$  снижается.

Для характеристики материалоемкости электродвигателей постоянного тока фирмы Siemens выбран отрезок серии 1GG с габаритами

ритными размерами по высоте оси вращения от 160 до 630 мм. Результаты расчета коэффициента  $g$  этих электродвигателей приведены в табл. 7.

Материалоемкость электродвигателей постоянного тока фирмы АВВ определена для электродвигателей серии DMI с габаритными размерами высоты оси вращения от 180 до 400 мм. Результаты расчетов коэффициента  $g$  этой серии электродвигателей приведены в табл. 8.

#### 7. Двигатели постоянного тока фирмы Siemens

Габарит	Длина (усл)	P (кВт)	n (об/мин)	g (кг/Н·м)	
				от – до	
160	2,4,6	30–99	725–3440	0,85–1,23	
180	6,8	44–144	645–2840	0,78–0,98	
200	6,8	64–185	650–2480	0,71–0,86	
225	6,8	96–266	492–2300	0,64–0,8	
250	6,8	121–352	540–1970	0,6–0,69	
280	6,8	170–428	482–1600	0,52–0,62	
350	1–5	236–565	275–1600	0,40–0,71	
400	1–5	230–670	171–1190	0,37–0,59	
450	1–5	197–705	103–382	0,34–0,52	
500	0–4	288–765	137–995	0,31–0,59	
630	1–5	344–930	81–464	0,26–0,41	

#### 8. Двигатели постоянного тока фирмы АВВ

Габарит	Длина (усл)	P (кВт)	n (об/мин)	g (кг/Н·м)	
				от – до	
180	В,Е Н,М Р, S	27–159	340–3696	0,5–1,16	
200	В,Е Н,М Р, S	53–204	313–3696	0,53–0,97	
225	К, N S, U X	99–307	392–2626	0,48–0,69	
250	Л, Р Т, V Y	99–378	208–2193	0,39–0,66	
280	Л, Р Т, V Y	119–467	198–1884	0,36–0,55	
315	Н, L N, R Т, V Y, Z	162–630	152–1994	0,28–0,56	
400	Н, L N, R Т, V Y, Z	180–1017	88–1528	0,23–0,40	

#### Выводы

Приведенные результаты расчетов коэффициента  $g$  позволяют произвести оценку материалоемкости электродвигателей переменного и постоянного тока при выборе их для электропривода промышленных механизмов.

Сравнивая показатели двигателей переменного и постоянного тока таких ведущих мировых производителей, как Siemens и АВВ (таблицы 7, 8), видно, что материалоемкость, а, следовательно, и массогабаритные показатели электродвигателей постоянного тока существенно ниже, чем асинхронных с короткозамкнутым ротором. Ниже оказывается также материалоемкость синхронных двигателей с постоянными магнитами. Это особенно следует учитывать при модернизации промышленных машин и механизмов с заменой регулируемых электроприводов постоянного тока частотными электроприводами переменного тока с асинхронными короткозамкнутыми двигателями.

#### Список использованной литературы

1. Малинин Л. И. Показатель массы и материалоемкость электроприводов [Текст] / Л. И. Малинин, В. И. Малинин, Г. А. Персов // *Электротехническая промышленность*. – М. : Сер. Электропривод. – 1983. – Вып. 4 (114). – С. 21 – 24
2. Исаев И. Н. Электропривод механизмов циклического действия [Текст] / И. Н. Исаев, В. Г. Созонов. – М. : Энергоатомиздат, 1994. – 170 с.
3. Технический каталог. Владимирский электромоторный завод (ВЭМЗ). – Владимир : – 2003. – Ч. 1.
4. Крановые электродвигатели для применения с преобразователями частоты. Технический каталог. Серия АМТК–F. – Ярославль : – Вып. 5, октябрь 2008.
5. SIMOTICS Low-Voltage Motors. Type series 1LE, 1PC, 1LA, 1LG, 1LP, 1MA, 1MJ, 1PP, 1PQ. Frame Sizes 65 to 450. Power Range 0,09 to 1250 kW/ Catalog D81.1, January 2012.
6. АВВ. Низковольтные электродвигатели промышленного назначения. Каталог. Апрель 2009.

7. SIEMENS. Three-phase Synchronous Motors Based on Permanent Magnet Technology. HT-direct 1FW4. Catalog D86.2 – 2007.

8. ABB. Drive Permanent Magnet Motors. Sizes 280 to 450. Catalogue BU, GB 05–2004.

9. Двигатели постоянного тока металлургические и крановые серии Д, мощностью 2,5 – 185 кВт. – Москва : ИНФОРМЭЛЕКТРО 01.19.01–78.

10. SIEMENS DC Motors. Sizes 160 to 630. 31,5 kW to 1610 kW. Catalog DA12–2008.

11. ABB. Catalogue DMI 180 – 400, 2008.

Получено 21.10.2013

### References

1. Malinin K.I., Malinin V.I., and Persov G.A.. Pokazatel' massy i materialoemkost' elektroprivodov [Indicator of Weight and Material Capacity of Electric Drives], (1983), *Elektrotehnicheskaya Promishlennost Publ.*, Moscow, Russian Federation, Ser. *Elektroprivod*, Vol. 4 (114), pp. 21 – 24 (In Russian).

2. Isaev I.N., and Sozonov V.G. Elektroprivod mekhanizmov tsiklicheskogo deistviya [Electric Drive of Cyclic Action Mechanisms], (1994), Moscow, Russian Federation, *Energoatomizdat Publ.*, 170 p. (In Russian).

3. Tekhnicheskii katalog. Vladimirskii elektromotorny zavod [Vladimirsky Electromotorny Zavod. Technichesky Catalog], (2003), Vladimir, Russian Federation, VEMZ, Part 1 (In Russian).

4. Kranovye elektrodvigateli dlya primeneniya s preobrazovatelyami chastoty. Tekhnicheskii katalog. Seriya AMTK-F [Crane Electric Motors for use with Frequency Converters]. Technical Catalog. Series AMTK-F. (2008), Yaroslavl, Russian Federation, *Tekhnicheskii Katalog. Seriya AMTK-F*, Vol. 5, october 2008 (In Russian).

5. SIMOTICS Low-Voltage Motors. Type series 1LE, 1PC, 1LA, 1LG, 1LP, 1MA, 1MJ, 1PP, 1PQ. Frame sizes 65 to 450. Power Range 0,09 to 1250 kW/Catalog D81.1, January 2012 (In English).

6. Nizkovol'tnye elektrodvigateli promyshlennogo naznacheniya ABB [Low-voltage Electric Motors for Industry Purpose ABB], (2009), *Catalog*, April 2009 ( In Russian).

7. SIEMENS. Three-phase Synchronous Motors Based on Permanent Magnet Technology. HT-direct 1FW4. *Catalog D86.2 – 2007* (In English).

8. ABB. Drive Permanent Magnet Motors. Sizes 280 to 450. *Catalogue BU, GB 05-2004* (In English).

9. Dvigateli postoyannogo toka metallurgicheskie i kranovye serii D, moshchno-st'yu 2,5–185 kVt, [DC Motors Metallurgical and Crane Series D, Powerfully–Stu 2,5 – 185 kW], Moscow, Russian Federation, *INFORMELEKTRO Publ.*, 01.19.01–78 (In Russian).

10. SIEMENS DC Motors. *Sizes 160 to 630, 31,5kW to 1610kW/Catalog DA12-2008* (In English).

11. ABB. *Catalogue DMI 180 – 400, 2008* (In English).



Лимонов Леонид Григорьевич, канд. техн. наук, Частное акционерное общество «Тяжпромавтоматика», главный специалист отдела, 61072, Харьков, Проспект Ленина, 56, 38(057)758 64 88, тел.: (057)758 64 88. E-mail: mail@tpa5.com.ua