

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАШИННОГО УСИЛИТЕЛЯ С ГЛАДКИМ ЯКОРЕМ (ЭМУГ-12П)

А. С. БАТУРИН, А. И. СКОРОСПЕШКИН, Г. Г. КОНСТАНТИНОВ

(Рекомендована семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Недостатки коллекторных электромашинных усилителей, как и всех коллекторных машин, обусловлены главным образом неудовлетворительной коммутацией. Искрение ухудшает работу щеток и коллектора и, в конечном счете, сокращает надежность работы усилителя в целом.

Исследования надежности электромашинных усилителей ЭМУ-5П [2] показали, что основным элементом, снижающим надежность работы агрегата, является износ щеток. Было установлено, что электрощетки двигателя и генератора за одно и то же время изнашиваются неодинаково. В табл. 1 приведены данные по износу щеток двигателя и генератора.

Таблица 1

Средний износ щеток электромашинного усилителя ЭМУ-12П

№ п.п.	Наименование электрощеток	Величина среднего износа X в мм на 100 часов работы
1	Электрощетки двигателя	0,252
2	Электрощетки поперечной цепи генератора	0,844
3	Электрощетки продольной цепи генератора	0,715

Из табл. 1 видно, что износ электрощеток генератора усилителя в три с лишним раза больше, чем у двигателя.

В табл. 2 приведены верхние и нижние границы надежности щеток в функции времени.

Данные табл. 2 подтверждают тот факт, что надежность электрощеток генератора значительно ниже надежности щеток двигателя. Следовательно, самым слабым элементом в электромашинном усилителе являются электрощетки генератора. Они и снижают надежность агрегата в целом. Нелинейное изменение сопротивления щеточного контакта, искрение являются причиной нестабильности выходного напряжения и источником радиопомех, что отрицательно сказывается на качестве работы системы автоматического регулирования и электронной аппаратуры.

В связи с этим возникла практическая необходимость разработки такой конструкции коллекторного электромашинного усилителя, у которого была бы осуществлена безыскровая коммутация. Работа по созданию таких усилителей ведется на кафедре электрических машин Томского политехнического института.

Таблица 2

Верхние и нижние границы надежности электрощеток ЭМУ-5П

Наименование электрощеток	Граница	Число часов работы						
		100	200	300	400	500	1000	1500
Электрощетки двигателя	Верхняя	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9893	0,8686
	Нижняя	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,8925	0,5279
Электрощетки поперечной цепи генератора	Верхняя	1,0000	0,9999	0,9690	0,9222	0,8134		
	Нижняя	1,0000	0,9875	0,7769	0,5000	0,3336		
Электрощетки продольной цепи генератора	Верхняя	1,0000	1,0000	0,9934	0,9554	0,8925		
	Нижняя	1,0000	0,9953	0,8331	0,6443	0,4246		

Одним из реальных путей улучшения коммутации является уменьшение реактивной э.д.с., создающей добавочный ток в коммутируемой секции. Исходя из этого, была предложена конструкция ЭМУ поперечного поля с гладким якорем (ЭМУГ), позволяющая снизить индуктивность коммутируемых секций, а, следовательно, и величину реактивной э.д.с. в 5—10 раз [5]. Очень важным преимуществом новой конструкции является идентичность условий коммутации для всех секций якоря, а также отсутствие пульсаций магнитного потока в коммутируемой зоне.

В усилителе с гладким якорем значительно улучшаются условия охлаждения, что позволило увеличить плотность тока с 3 а/мм² до 21,3 а/мм².

Экспериментальная проверка новой конструкции в лабораторных условиях при номинальной нагрузке показала безыскровую работу коллекторно-щеточного узла генератора. Основная цель была достигнута.

Однако в новой конструкции увеличивается немагнитный слой между якорем и статором, что уменьшает коэффициент усиления агрегата. Этот недостаток в значительной мере компенсируется введением продольной подмагничивающей обмотки.

Для технической и экономической оценки нового усилителя необходимо осуществить сравнение. Базовым образцом для сравнения принимается усилитель ЭМУ-12П, так как усилитель с гладким якорем (ЭМУГ-12П) разработан в тех же габаритах, имеет приводной двигатель постоянного тока и то же функциональное назначение. Технико-экономические показатели по сравниваемым конструкциям приводятся в табл. 3.

Таблица 3

Технико-экономические показатели ЭМУ-12П и ЭМУГ-12П
(электромашинный усилитель с гладким якорем)

№ п.п.	Наименование количественного или качественного показателя	Ед. изм.	Значение показателя для:	
			ЭМУ-12П	ЭМУГ-12П
1	2	3	4	5

А. Технические показатели

1	Потребляемая мощность приводного двигателя	вт	2200	1865
2	Скорость вращения	об/мин	3500	3500
3	Номинальное напряжение приводного двигателя	в	110	110
4	Номинальная сила тока приводного двигателя	а	20	17,3
5	Номинальная мощность приводного двигателя	вт	1900	1700
6	Род тока приводного двигателя	—	постоян.	постоян.
7	Мощность усилителя на выходе	вт.	1300	1000
8	Напряжение на выходе усилителя	в	115	115
9	Номинальный ток на выходе усилителя	а	11,3	8,7
10	Коэффициент усиления	раз	3250	1340
11	Постоянная времени обмотки управления	сек	0,080	0,070

1	2	3	4	5
12	Постоянная времени поперечной цепи	сек	0,186	0,150
13	Эквивалентная постоянная усилителя	сек	0,266	0,220
14	Коэффициент добротности усилителя	1/сек	12400	8950
15	Допустимая перегрузка усилителя по току	раз	2,5	2,5
16	Коэффициент полезного действия (к.п.д.) агрегата	%	59	54
17	Габаритные размеры			
	а) длина	м	0,635	0,635
	в) ширина	м	0,323	0,323
	б) высота	м	0,255	0,255
18	Вес агрегата	кг	69	71
19	Потери электрической энергии:			
	а) суммарные потери холостого хода без сигнала управления	вт	149	147
	б) суммарные потери холостого хода при номинальном сигнале управления	вт	384	384,4
	в) суммарные потери при номинальной нагрузке	вт	900	865
20	Род тока на выходе	—	постоян.	постоян.
21	Качество коммутации на выходе усилителя	в услов. един.	1 1/2	1 (безыскровая)
22	Конструкция якоря	—	зубчатый	гладкий
23	Плотность тока обмотки якоря генератора	а/мм ²	3,2	21,3

Б. Экономические показатели

И. При изготовлении

24	Себестоимость изготовления усилителя	руб/шт	265,72	260,37
25	Трудоемкость изготовления усилителя	ч-час/шт	98,3	98,3
26	Расход обмоточной меди на усилитель	кг/шт	11,90	9,44
27	Экономия меди на один усилитель	кг/шт	—	2,46
28	Годовая экономия обмоточной меди на 100 усилителей	кг/год	—	2460
29	Общая экономия на материалах на 1000 усилителей	руб./год	—	5220

II При эксплуатации

30	Категория ремонтной сложности [3, стр. 494, табл. 205]	услов. ремонт. един.	5	5
31	Ремонтные расходы на усилитель в год	руб./год	119	119
32	Трудоемкость ремонтных работ на усилитель в год	н.час/год	65,5	65,5
33	Себестоимость потерь электрической энергии на усилитель в год	руб./год	13,18	12,64

Сравнивая технические показатели усилителей (табл. 3), устанавливаем, что новый образец (ЭМУГ-12П) имеет меньшую мощность (1000 Вт < 3250 Вт), коэффициент усиления (1340 < 3250) и более низкий коэффициент полезного действия (54 < 59). За счет отсутствия пазов на якоре новый усилитель имеет несколько больший вес по стали (71 кг > 69 кг).

Наряду с этим у нового усилителя есть очень важные качественные преимущества: безыскровая коммутация и лучшее быстродействие (0,150 сек < 0,266 сек). Эти показатели и определяют прогрессивность новой конструкции.

Экономические показатели при изготовлении (табл. 3, раздел Б. I) ЭМУГ-12П является лучшим по сравнению с ЭМУ-12П. В табл. 4 приведены цифровые данные по себестоимости обоих усилителей.

Таблица 4

**Себестоимость изготовления ЭМУ-12П и ЭМУГ-12П
(электромашинный усилитель с гладким якорем)**

№ п. п.	Наименование статей затрат	Базовый образец ЭМУ-12П		ЭМУГ-12П (с гладким якорем)		Примечание
		руб.	%	руб.	%	
1	Основные материалы и покупные изделия	92,45	34,8	87,23	33,5	
2	Зарплата производственных рабочих	44,89	16,8	44,89	17,3	
3	Цеховые расходы	78,11	29,4	78,11	30	
4	Общезаводские расходы	43,54	16,3	43,54	16,7	
5	Фабрично-заводская себестоимость	258,99	—	253,77	—	
6	Внепроизводственные расходы	6,73	2,7	6,6	2,5	
	Полная (коммерческая) стоимость	265,72	100	260,37	100	

Себестоимость изготовления (табл. 4) нового усилителя сокращается на 5,22 руб. за счет снижения материальных затрат (меньшее количество обмоточной меди якоря, а также отсутствие пазовой изоляции якоря). Это изменило удельное соотношение статей затрат в себестоимости изготовления ЭМУГ-12П. Одним из преимуществ нового усилителя является сокращение расхода обмоточной меди (2,46 кг на усилитель).

Экономические показатели ЭМУГ-12П при эксплуатации (табл. 3, раздел Б, II) имеют одинаковые значения. Исключение составляет более низкая стоимость потерь электрической энергии, обусловленная меньшей мощностью ЭМУГ-12П.

Так как оба усилителя имеют одинаковые количественные и качественные показатели, для сравнения они должны быть приведены к сопоставимому виду [4]. Мощность ЭМУГ-12П необходимо условно довести до 1,3 квт. При этом должны возрасти себестоимость изготовления, стоимость потерь электрической энергии и амортизационные расходы.

На основе цен на электромашинные усилители с двигателем постоянного тока [6] нами была установлена зависимость:

$$C_p = 214 \cdot P^{0,133} \quad (1)$$

где C_p — расчетная цена усилителя, руб.;
 214 — постоянный коэффициент зависимости;
 P — мощность усилителя, в квт,
 0,133 — показатель степени.

Учитывая найденную зависимость, капитальные затраты по усилителям (К) будут иметь следующие значения:

$$\text{ЭМУ-12П} - K_1 = 265,72 \cdot 1,15 = 306 \text{ руб.}$$

ЭМУГ-12П — $K_2 = 260,37 \cdot 1,15 \cdot 1,3^{0,133} = 312$ руб, где 1,15 — коэффициент перевода себестоимости в капитальные затраты (прибыль предприятия, транспортные расходы и затраты на монтаж у потребителя).

Эксплуатационные расходы по усилителям (С) по данным табл. 3 с учетом корректировки будут:

$$\text{ЭМУ-12П} - C_1 = 119 + 13,18 + 30,80 = 162,98 \text{ руб./год};$$

$$\text{ЭМУГ-12П} - C_2 = 119 + 12,64 \cdot 1,3 + 30,30 \cdot 1,3^{0,133} = 166,9 \text{ руб./год.}$$

Полученные показатели сведены в табл. 5.

Таблица 5

**Капитальные вложения (К) и эксплуатационные расходы (С),
приведенные к сопоставимому виду**

Модель усилителя	К руб.	Увеличе- ние К в % к базо- вому	С, руб./год	Увеличе- ние С в % к базо- вому
ЭМУ-12П	306	—	162,98	—
ЭМУГ-12П	312	2	166,90	2,45

Из последнего (табл. 5) следует, что электромашинный усилитель с гладким якорем (ЭМУГ) в сравнении с обычными ЭМУ имеет незначительное увеличение капитальных затрат и эксплуатационных расходов (2—2,45).

Убыток у потребителя от эксплуатации одного ЭМУГ-12П составит:

$$Y = (C_2^1 + E_n^1 \cdot K_2^1 - C_1^1 + E_n^1 \cdot K_1^1) =$$

$$= (166,90 + 0,15 \cdot 312) - (162,98 + 0,15 \cdot 306) = 4,52 \text{ руб./год,}$$

где Y — величина убытка у потребителя, руб./год;

C_2^1 — эксплуатационные расходы по ЭМУГ-12П, руб./год;

C_1^1 — то же для ЭМУ-12П, руб./год;

E_n^1 — нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности, 1/год. $E_n^1 = 0,15$ [4];

K_2^1 — капитальные затраты по ЭМУГ-12П, руб.;

K_1^1 — то же для ЭМУ-12П, руб.

Таким образом, при эксплуатации ЭМУГ-12П по сравнению с ЭМУ-12П потребитель будет иметь убыток в сумме 4,62 руб/год на усилитель. Однако при этом надо иметь в виду, что новая модель усилителя имеет безыскровую коммутацию, повышенную надежность и лучшее быстродействие, что не нашло отражения в расчетах. В ряде случаев эти показатели являются важнейшими для определенных условий эксплуатации.

Выводы

1. Электромашинный усилитель с гладким якорем имеет безыскровую коммутацию и высокое быстродействие. Хорошие условия коммутации позволяют уменьшить износ электрощеток и коллектора [1] и повышают надежность работы усилителя в целом.

2. Преимуществом ЭМУГ является снижение расхода обмоточной меди за счет более высокой плотности тока в обмотке якоря генератора.

3. Приведенные к сопоставимости капитальные вложения по ЭМУГ выше на 2%, а эксплуатационные — на 2,45% против обычных ЭМУ. Однако при этом не учтено сокращение эксплуатационных затрат ЭМУГ за счет меньшего износа электрощеток и от повышения надежности.

4. Разработанный усилитель с гладким якорем не является оптимальным вариантом. Дальнейшие исследования должны выявить оптимальную конструкцию и определить сокращение износа электрощеток за счет безыскровой коммутации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Хольм. Электрические контакты. Изд-во иностранной литературы, М., 1961.
2. Исследование надежности электрических машин. Отчет № 4, 1964. Кафедра электрических машин Томского политехнического института.
3. Единая система планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий. М., 1964.
4. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. М., 1966.
5. А. И. Скороспешкин, Г. Г. Константинов. Некоторые результаты исследования характеристик и коммутации ЭМУ поперечного поля с гладким якорем. Известия ТПИ, том 160, 1966.
6. Прейскурант № 15-01. Оптовые цены на машины электрические малой и средней мощности. М., 1963.