

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН (НА ПРИМЕРЕ КОЛЛЕКТОРНЫХ
И БЕСКОЛЛЕКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОМАШИННЫХ
УСИЛИТЕЛЕЙ — ЭМУ)**

А. С. БАТУРИН, А. И. СКОРОСПЕШКИН

(Рекомендована семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Разработка новых конструкций электрических машин требует решения не только технических проблем, но и экономических. Как правило, новые конструкции имеют отличные от ранее разработанных машин технические параметры и экономические показатели как при изготовлении, так и при эксплуатации. Кроме того, они могут иметь отличные качественные показатели, которые должны приниматься во внимание при оценке электрической машины. В связи с этим возникает необходимость исследования экономичности новых конструкций в различных условиях эксплуатации, а также в определении тех областей, в которых они могут наиболее экономично использоваться.

Исходными данными для исследования экономичности являются проекты новых электрических машин и экспериментальные данные после проведения всех необходимых лабораторных испытаний. Все эти данные систематизируются в виде таблиц. Наряду с этим выясняются все качественные особенности новой конструкции, которые могут оказать влияние на изготовление и на эксплуатацию.

На основе этих данных определяют себестоимость и предполагаемую цену нового изделия. Величина себестоимости устанавливается укрупненными методами, так как на этой стадии разработки отсутствует технология изготовления. Однако при этом необходимо стремиться к возможно более точному определению себестоимости и учесть данные заводов-изготовителей аналогичных изделий. Выбор укрупненного метода определения себестоимости (или цены) нового изделия зависит от условий и данных, которые имеются в распоряжении или которые могут быть дополнительно изысканы. Наибольшее распространение в практике получили следующие методы: по удельному весу стоимости основных материалов, полуфабрикатов и покупных изделий, в себестоимости аналогичных изделий; метод исчисления себестоимости (или цены) по средней стоимости единицы веса изделия; метод по средней себестоимости (или цене) отдельных узлов; метод парной или множественной корреляции; метод коррективов.

Используя один из перечисленных методов или их комбинацию, определяют себестоимость нового изделия, которая затем используется как основа для установления предполагаемой цены. Прибавив к цене (если это необходимо) дополнительно затраты на транспортировку до потребителя, затраты на монтаж и упаковку, определяют величину основных капитальных вложений (К), являющихся одним из главных экономических показателей.

Для того, чтобы сделать сравнение новых конструкций с ранее разработанными и выполняющими те же функции, необходимо их технические и экономические показатели привести к сопоставимому виду. Для этих целей может потребоваться установить зависимость себестоимости (или цены) от параметров электрической машины. Нахождение этих связей осуществляется методом парной или множественной корреляции [1]. На основе полученных зависимостей себестоимость (и цена) новой конструкции корректируется таким образом, чтобы ее технические параметры соответствовали тем, с которыми будет производиться сравнение. Сравнимые конструкции должны выполнять одни и те же функции при равных технических параметрах. Все дальнейшие работы должны производиться по сравнимым техническим и экономическим показателям.

Одним из важных показателей экономичности новой конструкции являются годовые эксплуатационные расходы (С).

Величина отдельных элементов затрат эксплуатационных расходов (амортизация, ремонтные расходы, стоимость потребляемой электрической энергии и др.) существенно зависит от условий и факторов эксплуатации. Поэтому рассмотрение возможных условий и факторов эксплуатации предшествует определению эксплуатационных затрат при исследовании экономичности.

Для электрических машин к числу факторов и условий эксплуатации относятся:

- 1) число часов включения в год (T_r);
- 2) соотношение между временем работы при нагрузке (t_1) и без нагрузки (t_2);
- 3) коэффициент загрузки по мощности (K_a);
- 4) величина двухставочного тарифа на электрическую энергию (S_a);
- 5) условия, в которых осуществляется работа (нормальные, трудные и др.);
- 6) надежность работы в заданных условиях;
- 7) перегрузки в эксплуатации и др.

Для всех возможных условий и факторов работы рассчитываются годовые эксплуатационные расходы (С) и стоимость одного часа эксплуатации (с). Эти показатели наряду с величиной основных капитальных затрат (К) характеризуют экономичность конструкции в различных условиях эксплуатации.

Окончательные выводы об экономичности можно сделать только при оценке с народнохозяйственных позиций. Такую оценку наиболее правильно можно сделать по формуле годовых приведенных затрат [2]:

$$Z_{r(i)} = C_i + E_n \cdot K_i, \quad (1)$$

где

- Z_r — годовые приведенные затраты по i -тому варианту (руб/год);
 C_i — годовые эксплуатационные расходы по i -тому варианту;
 E_n — нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности;
 K_i — полные капитальные вложения по i -варианту.

В состав полных капитальных вложений включаются не только основные, но и сопряженные, связанные с необходимостью капитальных вложений в другие отрасли народного хозяйства (в энергетику при большей величине потребляемой энергии; в цветную металлургию — при большем количестве меди на изготовление и т. п.). Необходимо учитывать экономичность как при изготовлении, так и при эксплуатации [2], не допуская повторного счета одной и той же экономии. Наименьшая величина годовых приведенных затрат (Z_r) ха-

рактически характеризует народнохозяйственную экономичность варианта конструкции в определенных условиях эксплуатации.

Формула годовых приведенных затрат (1) наиболее точно характеризует экономичность конструкции электрической машины, так как в ней E_H предполагается дифференциальной нормативной величиной. Этим формула (1) отличается от формулы:

$$E = \frac{C_2 - C_1}{K_1 - K_2} \geq E_H, \quad (2)$$

где

E — фактический коэффициент сравнительной экономической эффективности;

C_1 и C_2 — годовые эксплуатационные расходы по 1 и 2 вариантам, а K_1 и K_2 — капитальные вложения по тем же вариантам.

В формуле (2) величина

$$E = \frac{C_2 - C_1}{K - K_2}$$

вычисляется в конечных разностях и сопоставляется с нормативным E_H . Причем допускается большее значение E относительно нормативного E_H . Такое представление противоречит теоретическим основам экономической эффективности [7], где доказывается, что величина E_H дифференциальная и должна иметь одно и то же значение для всех вариантов оптимального плана. Этим объясняется тот факт, что при анализе по формуле (2) встречаются случаи, когда практически равноэкономичные варианты признаются неэффективными. Например, $E_H=0,20$; $C_1=1000$; $C_2=1001$; $K_1=510$; $K_2=500$, тогда

$$E = \frac{1001 - 1000}{510 - 500} = 1,10 < E_H = 0,2,$$

вариант 1 отвергается как неэффективный, хотя он мало отличается от первого по экономическим показателям (C , K). Однако при этом он может иметь качественные преимущества. Используя формулу (1), получаем решение:

$$Z_T = C_1 + E_H \cdot K_1 = 1000 + 0,2 \cdot 510 = 1102 \text{ руб/год}; \quad (1)$$

$$Z_T = C_2 + E_H \cdot K_2 = 1001 + 0,2 \cdot 500 = 1101 \text{ руб/год}, \quad (2)$$

разница годовых приведенных затрат составляет всего 0,09 проц. и варианты практически равноценны.

Таким образом, по формуле годовых приведенных затрат решение оказалось иным и оно подтверждается при анализе K и C , так как экономия на эксплуатационных расходах составляет всего $C_2 - C_1 = 1001 - 1000 = 1$ руб. (0,1 проц.), а разница в капитальных затратах $K_1 - K_2 = 510 - 500 = 10$ руб. (2 проц.). Как видим, капитальные вложения (K) и годовые эксплуатационные расходы (C) мало отличаются. Это подтверждает равноэкономичность вариантов.

На основе изложенной методики проведено исследование экономичности коллекторных и бесколлекторных электромашинных усилителей [3, 4, 5, 6]. В результате получены формулы для вычисления годовых эксплуатационных затрат (C), произведены вычисления Z_T и построены графики. На рис. 1 представлен график зависимости годовых эксплуатационных затрат (C), стоимости одного часа эксплуатации (c) и годовых приведенных затрат (Z_T) от числа часов включения в год (T_T).

Из графика рис. 1 видно, что C и Z_T с увеличением T_T возрастают

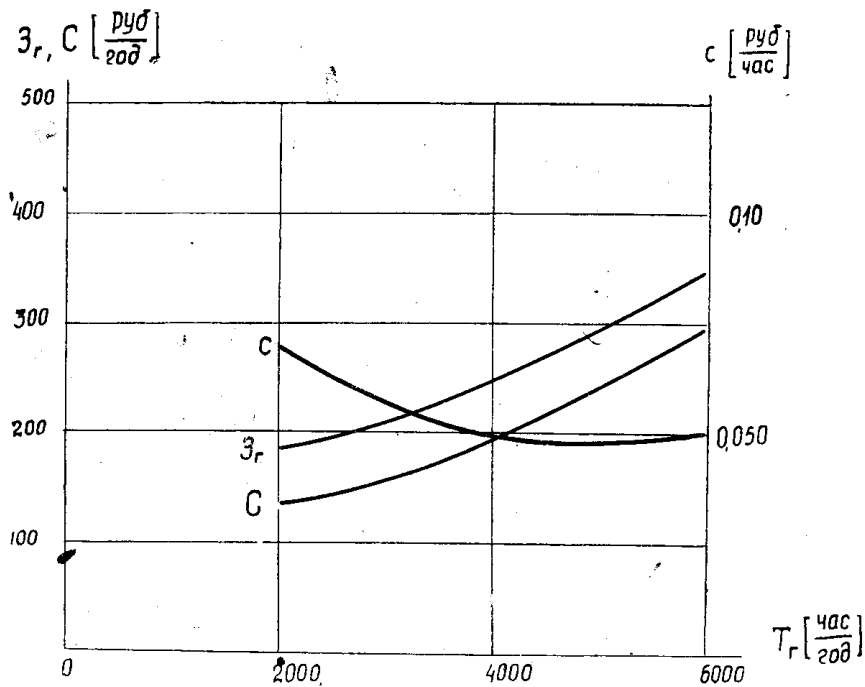


Рис. 1. График зависимости годовых эксплуатационных расходов (C), приведенных затрат ($З_r$) и стоимости часа работы (c) для ЭМУ-12П (нормальные условия эксплуатации $t_1:t_2=1:1$, $S_3=0,013$ руб. (квт. ч))

замедленно по кривой. Стоимость же часа эксплуатации (c) с увеличением T_r сокращается. Отсюда можно сделать вывод, что при эксплуатации ЭМУ выгодно увеличивать число часов включения в год. Следует иметь в виду, что параметры кривых C , $З_r$ и c при различных условиях и факторах эксплуатации изменяются.

Исследована также зависимость между выходной мощностью ЭМУ ($P_{\text{вых}}$), снижением годовых эксплуатационных затрат (C) и потерь электрической энергии при различных коэффициентах загрузки по мощности ($K_3=1$, $K_3=0,7$, $K_3=0,4$) от числа часов включения (T_r).

График этой зависимости представлен на рис. 2.

Так как из графика (рис. 2) значения $P_{\text{вых}}$, C и Π_3 представлены в процентах, при $K_3=1$ получается одна прямая, параллельная оси T_r . На этой прямой слились значения $P_{\text{вых}}$, C , Π_3 . Ясно, что при $K_3=1$, $P_{\text{вых}}=100$ проц., при этом принимаем также $C=100$ проц. и $\Pi_3=100$ проц. Остальное не требует пояснений.

Анализ графика (рис. 2) позволяет установить, что неполное использование мощности ЭМУ вызывает незначительное снижение эксплуатационных расходов (C), а значит, необходимо возможно полнее использовать мощность усилителя. Потери электрической энергии при $K_3=0,7$ сокращаются почти пропорционально коэффициенту загрузки. Однако при меньших коэффициентах загрузки происходит резкое падение к. п. д. агрегата и снижение потерь за счет этого сокращается. Так, при $K_3=0,4$ значение потерь мало отличается от тех же величин при $K_3=0,7$.

Важнейшим результатом исследований является установление областей экономического применения различных исполнений коллекторных и бесколлекторных ЭМУ.

Новая модель электромашинного усилителя с гладким якорем (ЭМУГ-12П) в сравнении с серийным ЭМУ-12П незначительно про-

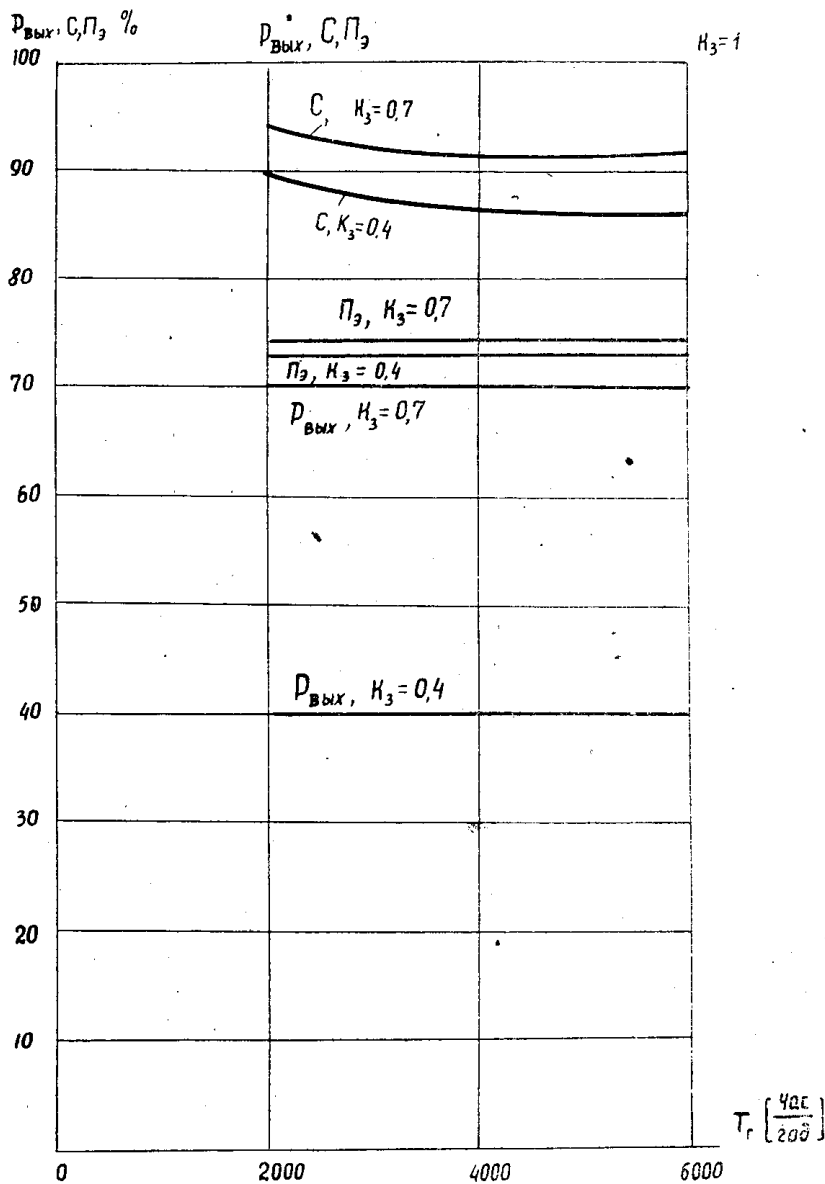


Рис. 2. График соотношения величин выходной мощности ($P_{\text{вых}}$) усилителя, годовых эксплуатационных расходов (C) и потерь электрической энергии ($\Pi_{\text{э}}$) при различных коэффициентах загрузки по мощности (K_3) в %, (для ЭМУ-12П; $S_0 = 0,013$ руб/квт-ч, $t_1 : t_2 = 1 : 1$)

игрывает в экономичности по годовым приведенным затратам при минимальном тарифе на электрическую энергию (3—9,7 проц). При этом экономичность ЭМУГ-12П сокращается с ростом T_r и возрастает в трудных условиях эксплуатации. Использование ЭМУГ-12П при максимальной стоимости электрической энергии увеличивает разрыв в экономичности до 12 проц. Это объясняется главным образом меньшим значением к. п. д. ЭМУГ-12П в сравнении с ЭМУ-12П. Однако лучшее быстродействие и более высокая надежность работы ЭМУГ с безыскровой коммутацией обеспечивает ему меньшие годовые приведенные затраты в системах автоматического регулирования (САР), где требуется повышенная надежность.

Нереверсивное исполнение бесколлекторного электромашинного усилителя (БЭМУ-12А) по схеме двух синхронных генераторов и двух машин постоянного тока почти при всех условиях и факторах работы

имеют более низкие годовые эксплуатационные затраты по сравнению с коллекторным ЭМУ-12А и являются более экономичными при отсутствии требования реверсивности. При этом БЭМУ-12А по схеме двух машин постоянного тока является более экономичным вследствие более высокого к. п. д. Так как БЭМУ-12А не имеют скользящего контакта, они характеризуются более высокой надежностью и поэтому обладают еще большей экономичностью в САР с жесткими требованиями к надежности.

Реверсивные исполнения БЭМУ-12А конкурируют по экономичности с ЭМУ-12А только в трудных условиях эксплуатации, при наибольшем тарифе на электрическую энергию и максимальном числе часов работы в год.

Главной причиной, снижающей их экономичность, является высокая стоимость изготовления схемы управления, так как в ней используются дорогостоящие управляемые диоды — тиристоры, изготовление которых началось сравнительно недавно. Расчеты показали, что при снижении цены тиристоров в 10 раз реверсивные БЭМУ-12А будут более экономичными при всех условиях и факторах эксплуатации.

Для САР с высокой надежностью экономичность реверсивных БЭМУ-12А в сравнении с ЭМУ-12А возрастает и расширяется область, где они становятся конкурентоспособными. Однако эта область распространяется в основном пока только на работу при наибольшем тарифе на электрическую энергию.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Кошута. Определение затрат в электромашиностроении методом математической статистики. В сб.: «Вопросы экономики и организации производства на предприятиях электротехнической промышленности». ЦИНТИ ЭП, Москва, 1963.
2. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. Москва, 1966.
3. А. И. Скороспешкин, Г. Г. Константинов. Некоторые результаты исследования характеристик и коммутации ЭМУ поперечного поля с гладким якорем. В сб.: «Известия ТПИ», т. 160, 1966.
4. А. И. Скороспешкин, Э. Н. Подборский. Исследование характеристик бесколлекторного электромашиного усилителя (БЭМУ) постоянного тока. В сб.: «Известия ТПИ», т. 160, 1966.
5. А. С. Батурин, А. И. Скороспешкин, Г. Г. Константинов. Техничко-экономическая оценка электромашиного усилителя с гладким якорем (ЭМУГ-12П). В сб.: «Известия ТПИ», т. 172, Томск, 1967.
6. А. С. Батурин, А. И. Скороспешкин, Э. Н. Подборский. Техничко-экономические обоснования разработки бесколлекторных электромашиных усилителей (БЭМУ). В сб.: «Известия ТПИ», т. 172, 1967.
7. В. Н. Богачев. «Срок окупаемости». Теория сравнения плановых вариантов. Изд-во «Экономика», Москва, 1966.