

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАГРУЗКИ И ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ**

*А. И. Мисько, студ., М. Ю. Юхименко, ст. препод.*

*Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина, e-mail: saue1@kdu.edu.ua*

**Введение.** В условиях промышленной эксплуатации асинхронные двигатели (АД) зачастую работают в не номинальных режимах – с не номинальной нагрузкой, ненормальным и несимметричным напряжением. Энергетические показатели АД – коэффициент полезного действия  $\eta$  и мощности  $\cos\varphi$  зависят от нагрузки АД и от параметров напряжения сети. Уровень потребления из сети АД активной и реактивной мощностей при ненормальной нагрузке и ненормальном напряжении отличается от уровня потребления для АД такой же мощности при номинальной нагрузке и стандартном напряжении сети. Следовательно, формирование математических зависимостей энергетических показателей АД от величины нагрузки  $P_2$ , степени ненормальности и несимметрии напряжения сети  $U_c$  является важной задачей.

**Цель работы.** Исследование и прогнозирование изменения энергоэффективности работы АД с учетом степени несимметрии и величины питающего напряжения и момента нагрузки.

**Материал и результаты исследования.** Различные режимы работы и факторы, влияющие на энергоэффективность АД, затрудняют использование единого подхода для их учета. Так, режимные и конструктивные параметры АД связаны с его энергоэффективностью через сложные взаимосвязи. В настоящее время одним из эффективных методов формирования математических зависимостей является представление их в виде полиномов, полученных с использованием методов теории планирования эксперимента и генетических алгоритмов. При создании комплекса моделей энергоэффективности работы АД, пригодных к практическому использованию, в случае многофакторных вариаций режимных и конструктивных параметров, представляется целесообразным использование рототабельных планов первого и второго порядка [5, 6]. В указанных планах можно добиться снижения числа плановых точек, что важно, если проводится многофакторное исследование. Поскольку зависимости энергетических показателей АД от нагрузки и напряжения являются нелинейными, был избран двухфакторный ортогональный центрально-композиционный план (ОЦКП). На основе его обработки формируются количественные математические зависимости  $\eta = f(U_c, P_2)$  и  $\cos\varphi = f(U_c, P_2)$  в виде полных квадратичных полиномов.

Рассмотрен АД, IP44,  $P_2 = 7,5$  кВт,  $U_n = 220$  В,  $n = 1500$  об/мин,  $f = 50$  Гц. Диапазон изменения нагрузки АД был выбран в пределах  $P_2 = (0,2-1,0)P_{2н} = (2-7,5)$  кВт, диапазон изменения напряжения сети  $U_c = (0,86-1,14)U_n = (190-250)$  В.

Для расчета энергетических показателей АД при различных значениях момента нагрузки и несимметрии напряжения использовалась методика и система расчета в среде Excel [1], которая обеспечивает достаточно точное совпадение расчетных характеристик со справочными данными [3]. Расчеты АД были выполнены по предусмотренным ОЦКП 9-и различным сочетаниям значений факторов  $P_2$  и  $U_c$ . Были определены значения  $\eta$ ,  $\cos\varphi$  при работе АД в указанных режимах. Результаты расчета ОЦКП при различных сочетаниях факторов и расчетные значения  $\eta$  и  $\cos\varphi$  АД представлены в табл. 1.

**Таблица 1 – Двухфакторный ОЦКП с результатами расчета энергетических показателей АД**

№	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_1X_2$	$x_1^2 - a$	$x_2^2 - a$	$\cos\varphi$	$\eta$
1	+1	-1	-1	+1	0,333	0,333	0,525	0,78
2	+1	+1	-1	-1	0,333	0,333	0,384	0,736
3	+1	-1	+1	-1	0,333	0,333	0,837	0,858
4	+1	+1	+1	+1	0,333	0,333	0,808	0,887
5	+1	$-\alpha$	0	0	0,333	-0,667	0,8	0,87
6	+1	$+\alpha$	0	0	0,333	-0,667	0,701	0,868
7	+1	0	$-\alpha$	0	-0,667	0,333	0,456	0,76
8	+1	0	$+\alpha$	0	-0,667	0,333	0,830	0,88
9	+1	0	0	0	-0,667	-0,667	0,755	0,873

При обработке двухфакторного ОЦКП второго порядка формирующий квадратичный полином в кодируемых факторах будет иметь следующий вид (1):

$$\hat{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_3(x_1^2 - a) + b_4(x_2^2 - a). \quad (1)$$

Квадратичные полиномы в кодируемых факторах для  $\eta$  и  $\cos\varphi$  имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \hat{\cos\varphi} &= 0,753 - 0,045x_1 + 0,187x_2 + 0,028x_1x_2 - 0,0028x_1^2 - 0,112x_2^2; \\ \hat{\eta} &= 0,874 - 0,00283x_1 + 0,058x_2 + 0,018x_1x_2 - 0,0045x_1^2 - 0,053x_2^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Согласно данным табл. 1, видно, что в данном диапазоне варьирования факторов, полученные уравнения дают погрешность определения энергетических показателей АД не больше 2 % по сравнению с точной расчетной моделью. За пределами принятого диапазона варьирования факторов точность расчета за полученными уравнениями уменьшается по мере удаления от этого диапазона и, например, для режима холостого хода, уравнения дают существенную погрешность.

На графике (рис. 1) в виде трехмерной поверхности показано влияние изменения напряжения и нагрузки на  $\eta$  и  $\cos\varphi$  АД. Полученные уравнения в относительных единицах могут применяться и для других типов АД с другими номинальными данными, но погрешность определения энергетических показателей при этом, как правило, возрастает.

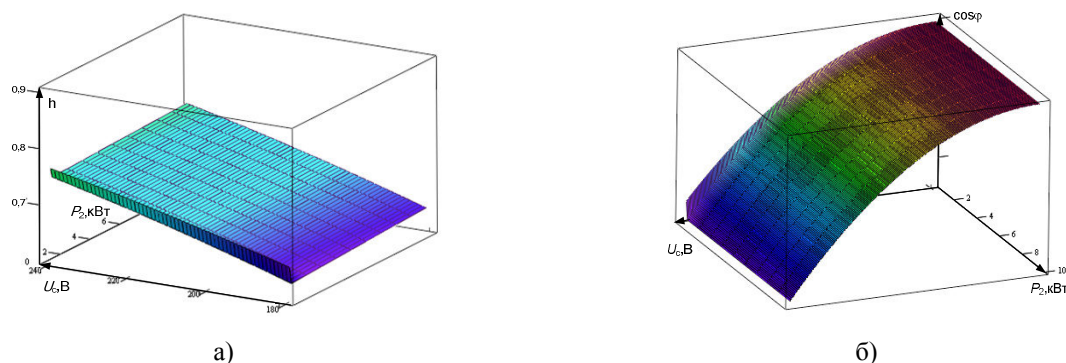


Рисунок 1 – Поверхности функций:  
а)  $\eta = f(U_c, P_2)$ ; б)  $\cos\varphi = f(U_c, P_2)$

Анализ результатов исследования (рис. 1) показал, что минимальные значения  $\eta$ ,  $\cos\varphi$  и результирующего момента АД соответствуют следующим сочетаниям факторов: для  $\eta$  – при  $U_1 = U_{1min}$  и  $U_2 = U_{2max}$  (уменьшение  $\eta$  в сравнении с номинальным на 1,1 %); для  $\cos\varphi$  – при  $U_1 = U_{1max}$  и  $U_2 = U_{2max}$  (уменьшение на 1,8 %); для  $M_{эм}$  – при  $U_1 = U_{1min}$  и  $U_2 = U_{2max}$  (уменьшение на 10,1 Н·м).

При исследовании энергетических показателей и электромагнитного момента АД мощностью 7,5 кВт в расширенном диапазоне изменения напряжения прямой и обратной последовательностей:  $U_1 = (0,8 \div 1,2)U_n$  и  $U_2 = (0,05 \div 0,1)U_n$ , установлено, что максимальное уменьшение  $\eta$ ,  $\cos\varphi$  и  $M_{эм}$  составят соответственно 3,6 %, 6,6 % и 21,67 Н·м.

**Выводы.** В работе на основании разработанных математических моделей были оценены количественные изменения характеристик энергоэффективности АД, работающих при изменении нагрузки, напряжения сети, для различной степени несимметрии фазного напряжения. По результатам исследования можно заключить, что на изменение коэффициентов мощности и полезного действия АД в большей степени оказывает влияние изменение нагрузки, чем изменение действующего значения напряжения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированное проектирование электрических машин: Учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. «Электромеханика» / Ю.Б. Бородулин, В.С. Мостейкис, Г.В. Попов, В.П. Шишкин; Под ред. Ю.Б. Бородулина. – М.: Высш. шк., 1989. – 280 с.
2. Андрианов М.В., Родионов Р.В. Применение метода отдельных потерь при определении КПД асинхронного двигателя, работающего от полигармонического источника напряжения // Электротехника. 2007. №6. С. 20-24.
3. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 504 с.
4. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; Под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с.
5. Дмитриев М.М. Конспект лекций по курсу «Математическая теория электрических машин». Планирование эксперимента при решении задач электромеханики / Под ред. Копылова И.П. – М.: МЭИ, 1981. – 52 с.
6. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
7. Ивоботенко Б.А., Ильинский Н.Ф., Копылов И.П. Планирование эксперимента в электромеханике. – М.: Энергия, 1971. – 185 с.