

где  $W_a$  – величина годового потребления активной электрической энергии рассматриваемым потребителем, кВт·ч;

$N$  – количество внезапных отключений потребителя в год, откл./год;

$\tau$  – средняя продолжительность одного внезапного отключения, ч.

Снижение ущерба от недоотпуска электроэнергии при перерывах электроснабжения потребителей АПК в результате внедрения мероприятий по повышению надежности, предложенных выше, в зависимости от коэффициента загрузки ТП 10/0,4 кВ, питающих потребителей, представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Снижение ущерба от перерывов электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения

Коэффициент загрузки ТП	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
Мероприятие	Замена неизолированных проводов на самонесущие изолированные на участках ВЛ 10 кВ				
Ущерб, тыс.руб.	1920,82	5762,47	9604,11	13445,75	17287,40
Мероприятие	Замена неизолированных проводов на изолированные для ВЛ 0,4 кВ, питающих потребителя				
Ущерб, тыс.руб.	422,51	1267,52	2112,53	2957,55	3802,56
Мероприятие	Применение в ТП 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ местного АВР				
Ущерб, тыс.руб.	6950,73	20852,20	34753,67	48655,13	62556,60

С помощью предложенного метода оценки эффективности мероприятий по повышению надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей энергоснабжающие организации могут производить выбор и обоснование соответствующих мероприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Янукович, Г.Н. электроснабжение сельскохозяйственных потребителей / Г.Н. Янукович, В.П. Счастный. – Минск: Дизайн ПРО, 2000. – 176 С.
2. Правила применения скидок (надбавок) к тарифу на электрическую энергию, отпускаемую предприятиями электрических сетей Минэнерго СССР сельскохозяйственным потребителям и установления штрафов за перерывы электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. – М.: Союзтехэнерго, 1988.

УДК 621.313.333

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ПОЛЮСНОГО ДЕЛЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Селяцкая О.Ю., ст. преподаватель; Рак Е.М.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь

Конструктивное оформление асинхронных электродвигателей, их мощность и габариты зависят от назначения и условий работы.

Технико-экономические показатели – размеры, масса и стоимость электродвигателя – зависят от его главных размеров – внутреннего диаметра сердечника статора и его длины, которые в свою очередь зависят от мощности двигателя, частоты вращения, а также основных электромагнитных нагрузок в номинальном режиме – индукции в воздушном

зазоре  $B_\delta$  и линейной нагрузки  $A$ . Величины  $B_\delta$  и  $A$  определяют среднюю касательную силу  $F_K$  на единицу поверхности статора (рисунок № 1):

$$F_K = \alpha_\delta \cdot K_B \cdot K_{об} \cdot B_\delta \cdot A. \quad (1)$$

Здесь  $\alpha_\delta$  – коэффициент полюсной дуги, учитывающий действие индукции  $B_\delta$  в пределах полюсного деления (только на протяжении расчетной полюсной дуги  $\alpha_\delta \tau$ );  $K_B$  – коэффициент, зависящий от формы кривой магнитного поля в воздушном зазоре;  $K_{об}$  – обмоточный коэффициент.

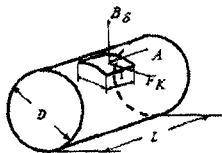


Рисунок № 1. Определение средней касательной силы.

Умножив  $F_K$  на площадь поверхности статора  $\pi DL$  и на плечо  $D/2$ , получим выражение электромагнитного момента:

$$M_{эм} = \frac{\pi}{2} \cdot \alpha_\delta \cdot K_B \cdot K_{об} \cdot D^2 \cdot L \cdot B_\delta \cdot A \quad (2)$$

где  $D$  и  $A$  – соответственно внутренний диаметр и длина сердечника статора, мм.

Умножив (2) на синхронную угловую частоту вращения магнитного поля статора  $\omega_1$  ( $\omega_1 = 2\pi \cdot n_1 / 60$ ), получим зависимость  $P_{эм}$  от основных геометрических размеров, электромагнитных нагрузок и скорости вращения машины:

$$P_{эм} = \frac{\pi}{2} \cdot \alpha_\delta \cdot K_B \cdot K_{об} \cdot D^2 \cdot L \cdot B_\delta \cdot A \cdot \omega_1 \quad \text{или}$$

$$P_{эм} = \frac{\pi^2}{60} \cdot \alpha_\delta \cdot K_B \cdot K_{об} \cdot D^2 \cdot L \cdot B_\delta \cdot A \cdot n_1 \quad (3)$$

Из (3) следует, что при неизменной электромагнитной мощности, чем выше электромагнитные нагрузки  $B_\delta$  и  $A$ , тем меньше габариты машины и ее масса, расход активных материалов и стоимость. В одном и том же габарите машины высокоскоростные имеют мощность выше низкоскоростных. Из (4) определяется машинная постоянная:

$$\frac{D^2 \cdot L \cdot n_1}{P_{эм}} = \frac{60}{\pi^2 \cdot \alpha_\delta \cdot K_B \cdot K_{об} \cdot A \cdot B_\delta} = C \quad (4)$$

Все величины в формуле (4), кроме синхронной частоты вращения магнитного поля статора  $n_1$ , неизвестны, но на выбор параметров  $A$ ,  $B_\delta$ ,  $\alpha_\delta$ ,  $K_B$ ,  $K_{об}$  имеются рекомендации в литературе по проектированию электрических машин. Остаются два неизвестных  $D$  и  $L$ . Проектирование электрической машины сводится к многократному расчету зависимостей между основными показателями в (4), заданных в виде системы формул, эмпирических коэффициентов, графических зависимостей, которые можно рассматривать как уравнения проектирования. Если пренебречь потерями в роторе электродвигателя, то можно считать, что  $P_{эм} = P_2$ , где  $P_2$  – полезная мощность:

$$P_2 = C(\tau) \cdot L \cdot D^2 \cdot n_1 \quad (5)$$

где  $n_1$  – синхронная частота вращения магнитного поля статора, мин<sup>-1</sup>.

Таким образом, для определения полезной мощности трёхфазных асинхронных электродвигателей можно применить формулу (5), позволяющую связать между собой все

параметры моделируемой машины.

В формуле (5)  $C$  – функция, определяющая модель и зависящая от полюсного деления  $\tau$ :

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot p_1} \quad (6)$$

где  $p_1$  – число пар полюсов в машине.

На основе выборки и обобщения экспериментальных данных, была получена эмпирическая формула методом оценивания параметров приближающей функции, минимизирующей сумму квадратов отклонений наблюдений зависимой переменной от значений искомой функции, т.е. по методу наименьших квадратов [1] в виде логарифмической зависимости (формула (7)).

$$C(\tau) = a \cdot \ln \tau + b \quad (7)$$

где  $a$  и  $b$  – некоторые постоянные величины, численные значения которых определяются в соответствии с числом полюсов машины. Параметры  $a$  и  $b$  имеют размерность  $\times 10^{-9}$ .

При этом в ходе исследования был сделан важный вывод, что постоянная ядра машины  $C$  – это величина, распределяемая относительно полюсного деления по закону натурального логарифма. Под экспериментальными данными понимаются данные, полученные в ходе анализа существующего спектра асинхронных машин серий 4А (также отдельно ВАО).

Двигатели серии 4А спроектированы оптимальными для нужд народного хозяйства. Критерием оптимизации была принята суммарная стоимость двигателя в производстве и эксплуатации, которая должна быть минимальной. Численные данные анализа, представленные в виде массива, будем называть таблично-заданной функцией  $C=f(\tau)$ .

Приведём для примера некоторые данные для двигателей основного исполнения IP44 скоростью 1500 мин<sup>-1</sup>, их технические характеристики представлены в таблице №1 для машин различных классов мощности. Здесь  $C$  – постоянная ядра машины, полученная по справочным данным с использованием формулы (4).

Таблица №1 - Двигатели серии 4А

Типоразмер	P, кВт	n, мин <sup>-1</sup>	2p	D, мм	L, мм	C	$\tau$ , мм
4A71A4Y3	0,55	1500	4	70	65	1,151	54,978
4A71B4Y3	0,75	1500	4	70	74	1,379	54,978
4A80A4Y3	1,1	1500	4	84	78	1,332	65,973
4A100S4Y3	3	1500	4	105	100	1,814	82,467
4A132S4Y3	7,5	1500	4	145	115	2,068	113,883
4A160S4Y3	15	1500	4	185	140	2,087	145,299
4A200M4Y3	37	1500	4	238	170	2,562	186,925
4A250M4Y3	90	1500	4	290	260	2,744	227,765
4A355S4Y3	250	1500	4	380	360	3,206	298,451

$$C(\tau) = a \cdot \ln \tau + b, \text{ где } a = 1.202 \cdot 10^{-9}, b = -3.570 \cdot 10^{-9} \quad (7)$$

Вывод формулы зависимости основывается на поиске приближенной функции для расширения дискретной области определения таблично-заданной зависимости до непрерывной области.

Для формирования численной модели была использована система *Wolfram Research Mathematica 7* [2, 3].

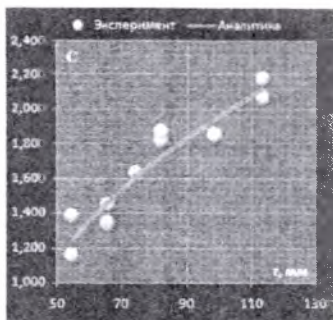


Рисунок №2. Данные, моделирующие экспериментальный спектр  $C=f(\tau)$  для двигателей малой мощности.

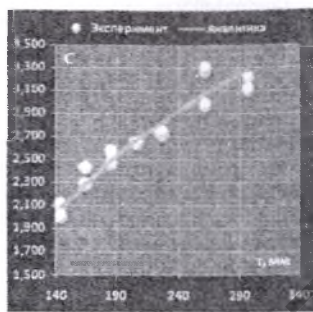


Рисунок №3. Данные, моделирующие экспериментальный спектр  $C=f(\tau)$  для двигателей средней мощности.

На рисунках №2 и №3 представлены распределения  $C=f(\tau)$  и функции, замещающие эти распределения, для двигателей малой и средней мощности основного исполнения IP44 с частотой вращения  $1500 \text{ мин}^{-1}$ . Данная модель описывает зависимость между исходными данными и искомыми величинами с доверительной вероятностью 0.95.

Запись модели в виде результата аналитического решения исходных данных описывается уравнениями (7) и (8) (здесь подразумеваются двигатели малой и средней мощности серии 4А скоростью  $1500 \text{ мин}^{-1}$ ).

Степень адекватности ее объекту моделирования определяется постановкой и корректностью решений задачи проектирования. Для рассмотрения этих критериев отдельно приведем средние величины относительных погрешностей вычислений. Для двигателей средней мощности величина максимума значения относительной погрешности составляет  $\epsilon=4.81\%$ , для двигателей малой мощности  $\epsilon=3.72\%$ .

Кроме выше представленных зависимостей, формирующих модель для двигателей скоростью  $1500 \text{ мин}^{-1}$ , были получены аналогичные модели для двигателей скоростями 750, 1000 и  $3000 \text{ мин}^{-1}$  для серии 4А и для серии ВАО.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лоусон Ч., Хенсон Р. Численное решение задач методом наименьших квадратов / Пер. с англ. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 232 с
2. Advanced Engineering Mathematics / Alan Jeffrey – Harcourt: «Academic Press», 2002.
3. Nonlinear Physics with *Mathematica* for Scientists and Engineers / Richard H.Enns, George C.McGuire – Boston: «Birkhauser», 2001.

УДК 628.8

### ЭФФЕКТИВНЫЙ КОЖУХОТРУБНЫЙ ТЕПЛОБМЕННИК

Синяков А.Л., канд.тех.наук, Коротинский В.А., канд.тех. наук, Гаркуша К.Э., канд.тех.наук, Андрейчик А.Е., ст. преподаватель, Синица С.И., ассистент

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск. Республика Беларусь

Для снижения затрат тепловой энергии на создание микроклимата в производственных помещениях в отопительно-вентиляционных системах применяются кожухотрубные теплообменники.

Кожухотрубный теплообменник содержит кожух, в котором расположена верхняя и нижняя трубные доски и пучок теплопередающих труб, концы которых закреплены в