

использование локальных установок для обеспыливания воздуха. Очевидна актуальность поставленной задачи, если учесть, что 1 грамм пыли содержит свыше 2,5 миллиардов бактерий и обладает очень сильными аллергенными свойствами.(1) Снижение содержания пыли воздухе улучшает условия содержания птицы и обслуживающего персонала. В настоящее время разрабатываются малогабаритные установки для локальной очистки воздуха от пыли с использованием природных органических сорбентов на основе модифицированного торфа. Торф обладает бактерицидными свойствами и его использование позволяет снизить бактериальное загрязнения птичника

В Белорусском государственном аграрном техническом университете установка, которая предназначена для очистки и обеззараживания воздуха производственных помещений птицефабрик от аммиака и микрофлоры. Особенно эффективно это оборудование может использоваться в отопительный период, когда по существующей технологии подаваемый воздух необходимо подогревать. При использовании такого оборудования воздух очищается от вирусов, бактерий, плесени, грибов и другой микрофлоры. Снижается уровень заболеваемости птицы, и соответственно уменьшаются расходы на необходимые для их лечения и профилактики на ветпрепараты.

## **К ВОПРОСУ О ЧИСЛЕ ПАЗОВ ЗУБЧАТОГО МАССИВНОГО РОТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

Гурий В.В. (БГАТУ) г. Минск

О необходимости разработки специальных роторов (зубчатых массивных или двухслойных) для асинхронных электродвигателей и об эффективности их использования для приводов многих рабочих машин указывается в работах [1]...[5] и других.

Однако вопрос о числе пазов зубчатого массивного ротора до конца не решен. Оптимизация зубцовой зоны массивного ротора является сложной задачей.

В [6] такая оптимизация проведена путем расчета параметров и характеристик на основе массивно-клеточной модели зубчатого ротора. Однако эта методика не пригодна для инженерных расчетов.

В работе [7] того же автора предложен более простой путь. Он основан на оптимизации по качественным критериям. Однако, как будет показано ниже, расчетные и опытные значения оптимального числа пазов согласуются неудовлетворительно.

Данная работа посвящена оптимизации числа пазов величине электромагнитного момента.

Известно, что вращающий момент асинхронного двигателя определяется выражением:

$$M = C_m \Phi_m I_2' \cos \psi_2 \quad (1)$$

где  $\cos \psi_2$  – коэффициент мощности ротора;

$\Phi_m$  – магнитный поток, Вб;

$I_2'$  – приведенный ток ротора, А;

$C_m$  – коэффициент, определяемый по выражению (2):

$$C_m = m_1 K_{об1} p / \sqrt{2} \quad (2)$$

где  $m_1$  – число фаз двигателя;

$K_{об1}$  – обмоточный коэффициент;

$p$  – число пар полюсов.

Магнитный поток, проникающий в массивный зубчатый ротор, пропорционален поверхности ротора, за вычетом поверхности вырезов:

$$\Phi_m = C_1 (\pi d - bz) l \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр ротора, м;

$l$  – длина ротора, м;

$b$  – ширина паза, м;

$z$  – число пазов;

$C_1$  – коэффициент пропорциональности.

Нарезание зубцов на роторе приводит к увеличению периметра ротора и сечения, по которому протекает ток. Периметр находится по формуле:

$$\Pi = \pi d - zb + 2zh \quad (4)$$

где  $h$  – высота зубцов, м;

Ток пропорционален периметру и сечению, по которому проходит ток:

$$I_2' \cos \psi_2 = C_2 \frac{a_2}{\rho l} \Pi = C_2 \frac{a_2}{\rho l} (\pi d - zb + 2zh) \quad (5)$$

где  $C_2$  – коэффициент;

$a_2$  – эквивалентная глубина проникновения электромагнитного поля в зубчатый ротор, м;

$\rho$  – удельное сопротивление ротора, ом·м.

Из опытов известно, что  $\cos \psi_2$  для массивного ротора есть величина постоянная. Подставляя (2), (3) и (5) в уравнение (1), получим:

$$M = C_3(\pi d - zb)(\pi d - zb + 2zh) \quad (6)$$

где  $C_3 = C_m C_1 C_2 \frac{a_2}{\rho} \cos \psi_2$ .

Из формулы (6) видно, что  $M = f(z, b, h)$ .

Определим число пазов, при котором момент двигателя достигает максимального значения. Для этого возьмем производную  $dM/dz$  и приравняем ее к нулю. Тем самым найдем то значение пазов, при котором момент максимальный. Далее исследуем это значение.

Во-первых, установим, что для увеличения момента требуется увеличивать отношение  $h/b$ .

Во-вторых, установим, что увеличивать высоту зубцов  $h$  более 10мм не имеет смысла, поскольку величина момента от этого увеличивается незначительно.

В-третьих, введем ограничение на ширину  $t_2$  ножки зубца (рис.1а) Ее ширина должна составлять не менее двойной глубины проникновения электромагнитного поля в ротор при частоте 50Гц, т.е. должна быть 2...4мм.

В-четвертых, введем ограничение на минимальную ширину пазов, связанную с технологией изготовления:  $b \geq 1,0$  мм.

Оптимальное число пазов определяется по формуле:

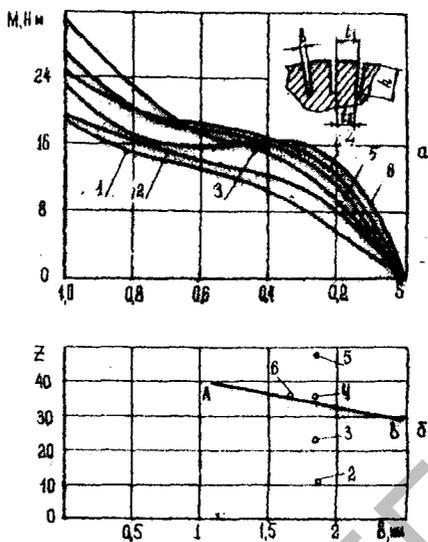
$$Z_{opt} = \frac{\pi d - 2\pi h}{2a_{0,05} + b} \quad (7)$$

Теоретический вывод об оптимальном числе пазов массивного зубчатого ротора подтверждается экспериментальными данными.

На рис. 1а приведены шесть механических характеристик асинхронного двигателя при различных значениях  $Z$ ,  $b$  и  $h$  [8].

На рис. 1б нанесены значения  $Z$  и  $b$  для указанных на рис.1а роторов, а так же линия АВ оптимальных значений  $Z_{opt}$ , полученная по уравнению (7), в котором  $a_{0,05} = 1,5 \cdot 10^{-3}$  м и  $h = 10 \cdot 10^{-3}$  м. Ширина зубца в нижней части составила  $3 \cdot 10^{-3}$  м.

Из рисунка 1а следует, чем ближе число пазов и их ширина соответствуют линии АВ, тем лучшие характеристики роторов. Роторы №6 и №4 наиболее близко подходят к линии АВ оптимальных значений, причем ротор №6 имеет более узкие пазы, следовательно, имеет лучшую механическую характеристику.



**Рисунок 1** – Механические характеристики асинхронного погружного электродвигателя ( $d = 71,2 \cdot 10^{-3}$  м) при различной геометрии зубцовой зоны (а) и зависимость оптимального числа пазов от ширины паза по опыту и расчету (б): 1 - ротор с гладкой поверхностью; 2 – зубчатый  $z=12$ ,  $b=1,85$  мм,  $h=12$  мм; 3 – зубчатый,  $z=18$ ,  $b=1,85$  мм,  $h=12$  мм; 4 -  $z=24$ ,  $b=1,85$  мм,  $h=12$  мм; 5 -  $z=48$ ,  $b=1,85$  мм,  $h=12$  мм; 6 -  $z=36$ ,  $b=1,65$  мм,  $h=10$  мм; АВ – линия оптимального числа пазов  $Z_{\text{opt}}$  при  $t_2 = 3 \text{ мм} = \text{const}$  и  $h = 10 \text{ мм} = \text{const}$ .

Интересно отметить, что в работе [7] оптимальное число пазов определяется по формуле:

$$Z_{\text{opt}} = \pi k_s \left[ 1 + \frac{k_{bz}}{\left( \frac{D_2 - d_0}{2D_2} \right) \frac{l_1}{l_2} - \frac{\pi \alpha_s}{4p} k_{bs}} \right] \quad (8)$$

где  $D_2$  – наружный диаметр ротора, м;

$d_0$  – внутренний диаметр ротора, м;

$l_1$  – длина магнитопровода статора, м;

$l_2$  – длина магнитопровода ротора, м;

$k_s, \alpha_s, k_{bs}, k_{bz}$  – коэффициенты, которые рекомендуется выбирать:  $k_s = 5 \dots 8$ ;  $\alpha_s = 0,7 \dots 0,75$ ;  $k_{bs} = 0,42 \dots 0,58$ ;  $k_{bz} = 0,32 \dots 0,48$ .

При  $D_2 = 71,2 \cdot 10^{-3}$  м и  $d_0 = 24 \cdot 10^{-3}$  м [8], с учетом указанных выше коэффициентов  $Z_{opt} = 66 \dots 110$ , что значительно превосходит оптимальное опытное значение  $Z_{opt} = 36$ .

При определении числа пазов массивного зубчатого ротора рекомендуется пользоваться формулой (7).

#### Литература

1. Могильников В.С., Олейников А.М., Стрельников А.Н. Асинхронные двигатели с двухслойным ротором. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 120 с.
2. Гаврилюк И.А. Электропривод вибрирующих рабочих органов почвообрабатывающих и свеклоуборочных машин: Автореф. дисс., канд. тех. наук, Киев, 1982. – 24 с.
3. Иванов В.В. Экспериментальные исследования асинхронного двигателя с двухслойным асинхронным ротором. – Электротехническая промышленность.: Сер. Электрические машины, 1982, вып. 4(134), с. 17–19.
4. Калинин Л.А., Шипуль П.Т., Гурин В.В. Результаты исследования асинхронных электродвигателей с ферромагнитными гильзами на роторе для автоматизированных электроприводов. – Сб. научн. тр./Бел. ин-т мех. с.х. – Горки, 1976, с. 44–48.
5. Юньков М.Г. Электропривод – уровень и перспективы. – Электротехника, 1980, №1, с. 33–36.
6. Лищенко А.И., Лесник В.А. Асинхронная машина с массивным ферромагнитным ротором оптимальной геометрии. – Киев, ИЭД АН УССР, 1978. – 186 с.
7. Лищенко А.И. Оптимальные конструктивные параметры массивного ротора асинхронных машин различной мощности. – Электротехника, 1983, №1, с. 4–7.
8. Сазонов Н.А., Шумилин Г.Д. Асинхронный привод с массивным ротором электродвигателя в сельскохозяйственном водоснабжении. В кн.: Вопросы сельскохозяйственной механики. – Мн. 1964, т.12, с. 187–245.

#### АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ

Гурин В.В., Бабаева Е.В., Батраков Д.В., (БГАТУ) г. Минск

Трехфазный асинхронный электродвигатель, как объект защиты, может быть представлен структурной схемой, содержащей входные и выходные параметры, а также возмущения (рисунок 1).