

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК
АГРАРНОЇ НАУКИ ПРИЧОРНОМОР'Я
Науковий журнал

Виходить 4 рази на рік
Видається з березня 1997 р.

Випуск 3 (91) 2016

Миколаїв
2016

Засновник і видавець: Миколаївський національний аграрний університет.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ №19669-9469ПР від 11.01.2013 р.

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого наказами Міністерства освіти і науки України від 13.07.2015 р. №747 та від 16.05.2016 №515.

Головний редактор: В.С. Шибанін, д.т.н., проф., чл.-кор. НААН

Заступники головного редактора:

І.І. Червен, д.е.н, проф.

І.П. Атаманюк, д.т.н., доц.

В.П. Клочан, к.е.н., доц.

М.І. Гиль, д.с.-г.н., проф.

В.В. Гамаюнова, д.с.-г.н., проф.

Відповідальний секретар: Н.В. Потриваєва, д.е.н., проф.

Члени редакційної колегії:

Економічні науки: О.В. Шибаніна, д.е.н., проф.; Н.М. Сіренко, д.е.н., проф.; О.І. Котикова, д.е.н., проф.; Джулія Олбрайт, PhD, проф. (США); І.В. Гончаренко, д.е.н., проф.; О.М. Вишневська, д.е.н., проф.; А.В. Ключник, д.е.н., проф.; О.Є. Новіков, д.е.н., доц.; О.Д. Гудзинський, д.е.н., проф.; О.Ю. Єрмаков, д.е.н., проф.; В.М. Яценко, д.е.н., проф.; М.П. Сахацький, д.е.н., проф.; Р. Шаундерер, Dr.sc.Agr. (Німеччина)

Технічні науки: Б.І. Бутаков, д.т.н., проф.; К.В. Дубовенко, д.т.н., проф.; В.І. Гавриш, д.е.н., проф.; В.Д. Будак, д.т.н., проф.; С.І. Пастушенко, д.т.н., проф.; А.А. Ставинський, д.т.н., проф.; А.С. Добишев, д.т.н., проф. (Республіка Білорусь).

Сільськогосподарські науки: В.С. Топіха, д.с.-г.н., проф.; Т.В. Підпала, д.с.-г.н., проф.; Л.С. Патрєва, д.с.-г.н., проф.; В.П. Рибалко, д.с.-г.н., проф., академік НААН України; І.Ю. Горбатенко, д.б.н., проф.; І.М. Рожков, д.б.н., проф.; І.П. Шейко, д.с.-г.н., професор, академік НАН Республіки Білорусь (Республіка Білорусь); С.Г. Чорний, д.с.-г.н., проф.; М.О. Самойленко, д.с.-г.н., проф.; Л.К. Антипова, д.с.-г.н., проф.; В.І. Січкарь, д.б.н., проф.; А.О. Лимар, д.с.-г.н., проф.; В.Я. Щербаков, д.с.-г.н., проф.; Г.П. Морару, д.с.-г.н. (Молдова)

Рекомендовано до друку вченою радою Миколаївського національного аграрного університету. Протокол № 11 від 23.06.2016 р.

Посилання на видання обов'язкові.

Точка зору редколегії не завжди збігається з позицією авторів.

Адреса редакції, видавця та виготовлювача:

54020, Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9,

Миколаївський національний аграрний університет,

тел. 0 (512) 58-05-95, <http://visnyk.mnau.edu.ua>, e-mail: visnyk@mnau.edu.ua

© Миколаївський національний аграрний університет, 2016

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКЦИИ В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ АКСИАЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

А. А. Ставинский, доктор технических наук, профессор¹

О. О. Плахтырь, кандидат технических наук, доцент¹

О. О. Пальчиков, магистр²

¹ Николаевский национальный аграрный университет

² Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова

Составлена математическая модель расчета распределения магнитной индукции в рабочем зазоре аксиального асинхронного двигателя с витым магнитопроводом исходя из равенства магнитодвижущих сил каждого коаксиального слоя электромагнитной системы. Использовались аппроксимирующие выражения данных таблиц магнитных напряжений зубцов и ярем. Выполнен анализ влияния конструктивно-геометрических параметров магнитной цепи на форму кривой распределения индукции в зазоре.

Ключевые слова: аксиальный асинхронный двигатель, индукция в рабочем зазоре, магнитодвижущая сила, магнитная цепь.

Постановка проблемы. Одно из направлений усовершенствования различных технико-технологических объектов специального и общепромышленного назначения заключается в конструктивно-функциональном соответствии активной части электродвигателей и узлов приводимых в движение механизмов. «Разворот в плоскость» традиционной радиальной электромагнитной системы (ЭМС) асинхронного двигателя (АД) с преобразованием цилиндрического зазора в аксиальный создает варианты структур (рис. 1). Такие структуры ЭМС обеспечивают интеграцию механической и электромеханической компонент в приводе различных механизмов [1-7]. Вариант конструкции аксиального АД (ААД) малой мощности [2] со схемой ЭМС (рис. 1, а) представлен на рис. 2. В [3] показаны конструкции герметичного компрессора и осевого контрроторного вентилятора с ААД схем (рис. 1, а, б). Из [4] известна система электромеханического дифференциала ЭМС (рис. 1, б) с двумя роторами, установленными на отдельных валах трансмиссии. Согласно [5, 6] встраи-

© Ставинский А.А. Пальчиков О.О., Плахтырь О.О., 2016

ванием и интеграцией элементов ААД и механизмов достигается оптимизация соотношения вращающего момента и массы, повышение энергетических показателей и технического уровня электромеханизмов в целом. На основе использования аксиальных ЭМС (рис. 1, а, в) в диапазоне мощности 37...250 кВт выпускаются высокооборотные (5000...6500 об/мин) центробежные компрессоры и насосы с частотным регулированием и встроенными электромеханическими, преобразовательными и микропроцессорными компонентами [7]. Также структуре (рис. 1, а) соответствует разработка ААД малой мощности для бытовой техники [8]. При этом при проектировании аксиальных (торцевых) АД использовались традиционные методики [9]. Традиционный расчет магнитных цепей, соответствующих структурным схемам (рис. 1), создает значительные погрешности определения энергетических характеристик ААД.

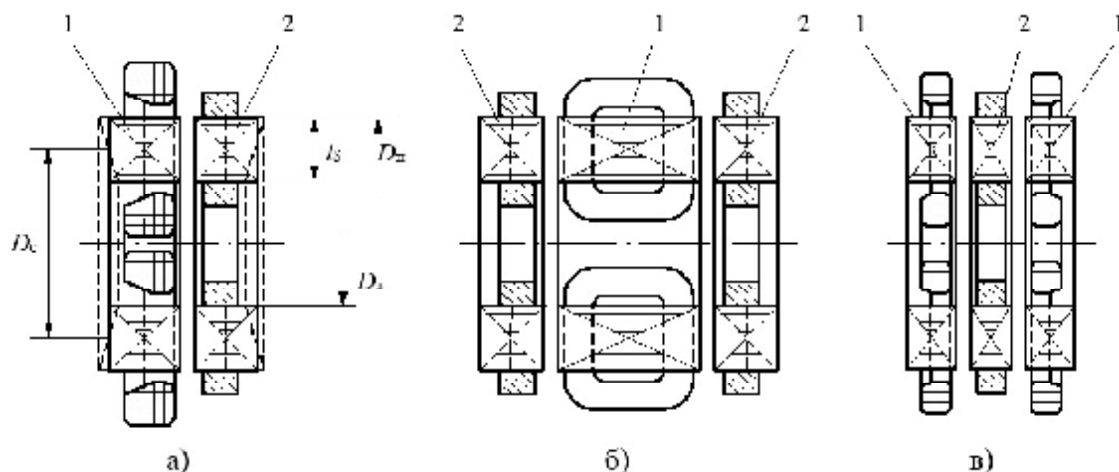


Рис. 1. Конструктивные схемы вариантов аксиальной электромагнитной системы с одним (а) и двумя (б) роторами, а также с двухсекционным статором и дисковым ротором (в): 1 – статор; 2 – ротор

В связи с расширением областей и возможностей применения ААД в различных механизмах и приборах [1-8], задачи повышения их технического уровня и адекватности расчетных методик представляются важными и актуальными.

Анализ последних исследований. Особенностью ЭМС (рис. 1) является значительная неравномерность распределения индукции магнитного поля в зазоре $B_{\delta}(R)$ и активном

объеме (вдоль координаты возрастания радиуса R). Магнитное поле распределяется неравномерно, что обусловлено изменением геометрии и насыщения элементов магнитопровода вдоль l_{δ} (рис. 1, а). Результаты исследования распределения магнитного поля ААД представлены в [10]. Однако ААД [1, 8, 11] рассчитывались с использованием понятия среднего диаметра D_c (рис. 1, а) и по значениям индукции на D_c без учета неравномерности $B_{\delta}(R)$ и с неадекватным определением потерь в электротехнической стали (ЭТС) магнитопровода. В [11] представлена методика проектирования ААД на основе прикладного программного обеспечения, где также отсутствует учет изменения магнитного поля, насыщения и параметров машины вдоль l_{δ} . В [2, 3] представлены результаты разработки оптимизационных математических моделей (ММ) ААД, позволяющие учитывать особенности распределения $B_{\delta}(R)$. Показана необходимость дополнения указанных ММ компонентами корректировки геометрии магнитопровода с учетом $B_{\delta}(R)$ при параметрическом синтезе ЭМС.

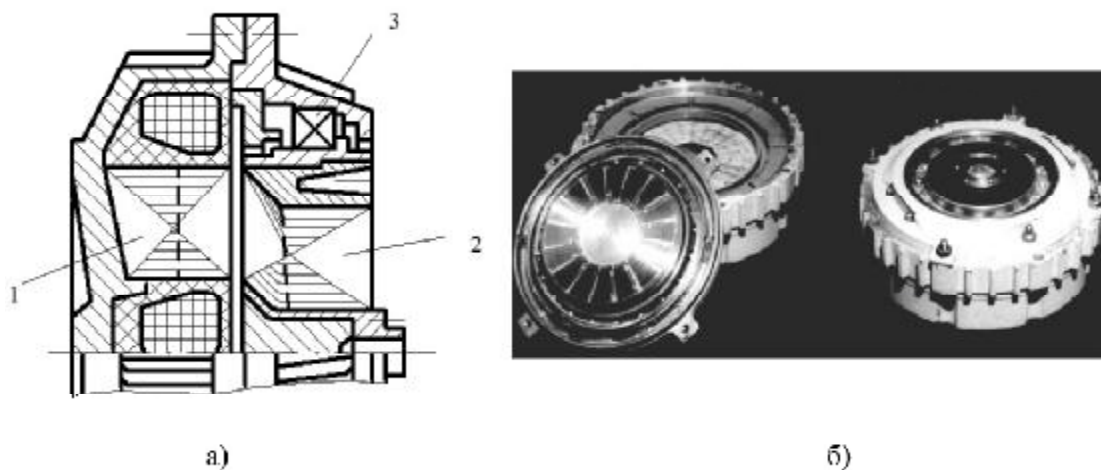


Рис. 2. Конструктивная схема (а) и образцы (б) аксиального асинхронного двигателя с одноопорной установкой ротора: 1 – статор; 2 – ротор; 3 – подшипник

Цель работы – разработка методики расчета радиального распределения индукции в рабочем зазоре и анализ влияния на указанное распределение конструктивно-геометрических параметров магнитопровода с целью повышения технического уровня ААД с витым магнитопроводом.

Изложение основного материала исследования. Для достижения поставленной цели, в соответствии с [10], магнитная цепь ААД с витым магнитопроводом разделяется на n коаксиальных участков (слоев) вдоль l_{δ} с координатами, определяющимися отношением ξ_{Ai} [2] внешнего диаметра D_H (рис. 1, а) и среднего диаметра D_i каждого из $i \geq 5$ слоев.

Исходя из идентичности магнитодвижущей силы (МДС) на полюс p в каждом из n участков магнитопровода составляется $(n-1)$ уравнений функций МДС статора $F(B_{\delta i})$ от значений амплитуд индукций рабочего зазора $B_{\delta i}$ на радиусе R_i в пределах D_H и D_B (рис. 1). Замыкающее систему уравнение формулируется из условия равенства среднеинтегрального значения индукции зазора $B_{\delta c}$ и среднеарифметического значения индукции на середине $n-1$ участков магнитной цепи:

$$\left. \begin{aligned} F_{(i=1)}(B_{\delta(i=1)}) - F_{(i=2)}(B_{\delta(i=2)}) &= 0; \\ &\vdots \\ F_{(i=n-1)}(B_{\delta(i=n-1)}) - F_{(i=n)}(B_{\delta(i=n)}) &= 0; \\ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{B_{\delta i} + B_{\delta(i+1)}}{2} &= B_{\delta c}. \end{aligned} \right\}$$

МДС i -го слоя определяется известным уравнением суммы магнитных напряжений участков магнитной цепи [9]

$$F_i(B_{\delta i}) = H_{z1i} h_{z1} + H_{z2i} h_{z2} + H_{a1i} l_{a1i} + H_{a2i} l_{a2i} + F_{\delta i},$$

где $H_{z1(2)i}$ и $h_{z1(2)i}$ – магнитные напряжения и высота зубцов статора (ротора) i -го слоя; $H_{a1(2)i}$ и $l_{a1(2)i}$ – магнитное напряжение и длина силовых линий поля в яремных и зубцовой зонах статора (ротора) i -го слоя; $F_{\delta i}$ – МДС рабочего зазора i -го слоя, определяется известным выражением [9] с использованием коэффициента Картера $K_{\delta i}$ и величины рабочего зазора δ ,

$$F_{\delta i} = 0,8 K_{\delta i} \delta \cdot 10^6 B_{\delta i}.$$

Магнитные напряжения $H_{z1(2)i}$ и $H_{a1(2)i}$ определяются аппроксимацией данных таблиц [9] кривых намагничивания зубцов и ярем, соответственно выражениями (материал магнитопровода – ЭТС 2013):

$H_{z1(2)i} = 100(2 + \exp(0,59B_{z1(2)i}^{2,55}))$ в диапазоне $B_{z1(2)i} = 1,0...2,35$; максимальная ошибка $\varepsilon = 8\%$;

$H_{a1(2)i} = 25,7 \exp(1,95B_{a1(2)i})$ в диапазоне $B_{a1(2)i} = 0,4...1,45$; максимальная ошибка $\varepsilon = 7\%$;

$H_{a1(2)i} = 70 \exp(0,7B_{a1(2)i}^{2,6})$ в диапазоне $B_{a1(2)i} = 1,45...1,7$; максимальная ошибка $\varepsilon = 2\%$;

$H_{a1(2)i} = 45 \exp(0,8B_{a1(2)i}^{2,64})$ в диапазоне $B_{a1(2)i} = 1,7...1,8$; максимальная ошибка $\varepsilon = 2\%$;

$H_{z1(2)i} = 191 \exp(0,52B_{z1(2)i}^{2,4})$ в диапазоне $B_{z1(2)i} = 0,85...1,3$; максимальная ошибка $\varepsilon = 4\%$,

где $B_{z1(2)i}$ и $B_{a1(2)i}$ – индукции зубцов и ярма статора (ротора) соответствующего слоя.

В ААД обычно используется прямоугольная форма пазов статора и ротора [1-8, 10]. Для такой формы, на основе ММ [2], высота зубцов $h_{z1(2)}$ статора (ротора) определяется:

$$h_{z1} = \frac{1}{1 - K_{pm1}} \sqrt{\frac{4\Pi_{ид}}{K_{зп} D_n^2 (1 - 1/\xi_A^2) K_{h1}}};$$

$$h_{z2} = \frac{1}{1 - K_{pm2}} \sqrt{\frac{4\gamma_1 \Pi_{ид}}{D_n^2 (1 - 1/\xi_A^2) K_{h2}}},$$

где, согласно [2], $K_{pm1(2)}$ – коэффициент соотношения суммарной высоты шлица и клина к высоте зубца статора (ротора); ξ_A – соотношение наружного D_n и внутреннего D_v диаметров магнитопровода, являющееся оптимизационной координатой ААД; $K_{зп}$ – коэффициент заполнения паза медью проводников обмотки; $K_{h1(2)}$ – коэффициент соотношения высоты и ширины паза статора (ротора); $\Pi_{ид}$ и γ_1 – показатель исходных данных и электромагнитных нагрузок [2] и расчетный коэффициент трансформации обмотки статора относительно обмотки ротора [9].

Значения $\Pi_{ид}$ и γ_1 определяются выражениями [2, 3]:

$$\Pi_{\text{ил}} = \frac{pP_{\text{н}}K_{\text{E}}}{2,22K_{\text{w1}}fJ_1B_{\text{oc}} \cos \varphi \eta};$$

$$\gamma_1 = \frac{K_{\text{w1}}(0,2 + 0,8 \cos \varphi)J_1}{J_2 K_{\text{ск}}},$$

где $P_{\text{н}}$ – номинальная мощность; K_{E} – коэффициент соотношения ЭДС и напряжения фазы обмотки статора; K_{w1} – обмоточный коэффициент статора; f – частота сети; $J_{1(2)}$ – плотность тока обмотки статора (ротора); $K_{\text{ск}}$ – коэффициент скоса пазов обмотки ротора; $\cos \varphi$ и η – энергетический коэффициент и коэффициент полезного действия ААД.

Длина силовой линии магнитного поля в ярме в элементарном слое i зависит от величин наружного и относительного диаметров

$$l_{ai} = \frac{\pi D_{\text{н}}}{\xi_{Ai} 4\rho}.$$

Индукция зубцов в i -ом слое определяется [9]

$$B_{z1(2)i} = \frac{\pi D_{\text{н}} B_{\delta i}}{\xi_{Ai} K_{\text{зс}} \left(\frac{\pi D_{\text{н}}}{\xi_{Ai}} K_{\text{н1(2)}} h_{z1(2)} (1 - K_{\text{рн1(2)}}) \right)},$$

где $K_{\text{зс}}$ – коэффициент заполнения магнитопровода ЭТС.

Для исключения насыщения в зоне $D_{\text{н}}$ (обусловлено возрастанием магнитного потока в направлении от $D_{\text{в}}$ к $D_{\text{н}}$) в ААД ярма с традиционным прямоугольным сечением выполняются недоиспользованными (с пониженными, относительно рекомендуемых [9], значениями $B_{\text{a1(2)}}$ на $D_{\text{с}}$). Такое исполнение повышает металлоёмкость ЭМС. Снижение материалоемкости и потерь ААД достигается использованием ярма трапецеидального сечения [10, 12] (пунктирные линии на рис. 1, а, рис. 2).

Индукция ярма с прямоугольным сечением в i -м слое

$$B_{\text{a1(2)i}} = \frac{B_{\delta i} D_{\text{н}} (\Delta(D/2))}{\xi_{Ai} 2\rho K_{\text{зс}} (\Delta(D/2)) h_{\text{a1(2)}}} - \frac{B_{\delta i} D_{\text{н}} 2\rho K_{\text{зс}} K_{\text{Bа1(2)}} B_{\delta i}}{2\rho K_{\text{зс}} \xi_{Ai} B_{\delta i} D_{\text{н}}} - \frac{B_{\delta i} K_{\text{Bа1(2)}}}{\xi_{Ai}},$$

где $h_{a1(2)}$ – высота ярма статора (ротора) на диаметре D_H , $K_{Ba1(2)}$ – коэффициент соотношения индукции в ярме и воздушном зазоре $B_{\delta 1}$ на D_H (в первом слое).

Коэффициент Картера ААД $K_{\delta i} = K_{\delta 1i} K_{\delta 2i}$, где $K_{\delta 1(2)i}$ – коэффициент зубчатости статора (ротора),

$$K_{\delta 1(2)i} = 1 + \frac{b_{ш1(2)}}{\pi D_H / \xi_{Ai} - b_{ш1(2)} + 5\delta \pi D_H z_{1(2)} / (\xi_{Ai} b_{ш1(2)})}.$$

Ширина шлица $b_{ш1(2)} = 0,5 K_{ш1(2)} h_{z1(2)} (1 - K_{ш1(2)})$.

Результаты решения задачи распределения индукции в рабочем зазоре методом Дорманда-Принса для 5-слойной модели магнитной цепи четырехполюсного ААД привода вентилятора (соответствует ААД [10]) мощностью $P_H = 550$ Вт с набором параметров: $\xi_A = 2,5$; $D_H = 0,15$ м; $J_1 = 5,5 \cdot 10^6$ А/м²; $J_2 = 2,4 \cdot 10^6$ А/м²; $K_{рш1} = K_{рш2} = 0,08$; $K_{w1} = 0,966$; $K_{ск} = 0,99$; $K_{зс} = 0,97$; $z_1 = 24$; $z_2 = 28$; $\cos \varphi = 0,75$; $\eta = 0,75$; $K_E = 0,95$, при изменении $\delta = (0,1 \cdot 10^{-3}; 0,35 \cdot 10^{-3}; 0,5 \cdot 10^{-3})$ м; $B_{\delta c} = 0,75$ и $0,7$ Тл; $K_{h1} = (6; 8)$; $K_{h2} = (9; 11)$, а также с прямоугольным сечением ярем и $K_{Ba1} = K_{Ba2} = (1,8; 2,125; 2,45)$ приведены на рис. 3 и рис. 4. На рис. 4 также приведены результаты расчетов распределения индукции в рабочем зазоре при трапецеидальном сечении ярем, индукция в которых изменяется по закону $B_{a1(2)i} = 1,8 B_{\delta i}$.

Характерный вид теоретически полученных функциональных зависимостей распределения индукции в рабочем зазоре (рис. 3, рис. 4) совпадает с экспериментальными зависимостями распределения индукции, полученными в [10]. Максимуму индукции соответствует минимальное сопротивление магнитной цепи. На рис. 3 в участке изменения $\xi_{Ai} = 1 \dots 2$ б.е. наблюдается повышение индукции относительно ее среднеинтегрального значения на 10...29 % (большие значения соответствуют большей индукции зубцов). Участок изменения $\xi_{Ai} = 2 \dots 2,5$ б.е. характеризуется значительным снижением индукции на 24...51 % относительно среднеинтегрального значения. Поэтому расчет ААД по среднему уровню индукции в рабочем зазоре на D_c магнитопровода приведет к значительным погрешностям, в связи с отличием ее средних значений на

4...8 %. Максимуму индукции соответствует зона $\xi_{Ai} = 1,375$, а ее реальное распределение $B_{\delta}(R)$ зависит от соотношения заданных индукций зубцов и ярем и геометрических соотношений элементов магнитопровода. С увеличением рабочего зазора δ распределение $B_{\delta}(R)$ «уплощается». При этом в диапазоне изменения δ рассматриваемого ААД с 0,35 мм до 0,5 мм изменение $B_{\delta}(R)$ незначительно. Снижение среднеинтегрального значения V_c с 0,75 до 0,7 Тл приводит к повышению значения $B_{\delta i}$ в зоне максимума на 10...20% и снижению в зоне минимума на 22...45%. При уменьшении высоты прямоугольного ярма в 1,18 раза индукция на координате $\xi_{Ai}=1$ понижается на 7,6...8,7 % относительно аналогичного значения в той же координате исходной ЭМС ($V_{\delta c} = 0,75$ Тл, $K_{Ba1(2)} = 1,8$ и $\delta = 0,35$ мм) и незначительно возрастает на последующих координатах. При уменьшении высоты ярма рассматриваемого ААД с коэффициентами $K_{h1} = 6$ и $K_{h2} = 9$, распределение $B_{\delta i(\xi_{Ai})}$ приближается к синусоидальному с положением максимума индукции в зоне D_c .

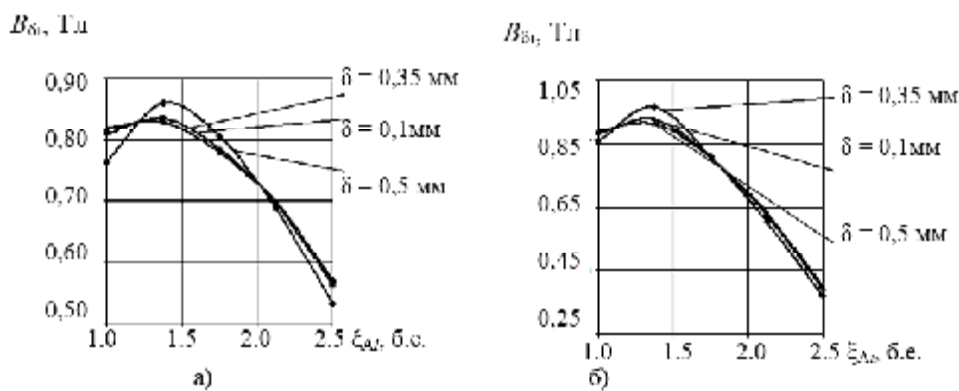


Рис.3. Зависимости распределения индукции в рабочем зазоре аксиального асинхронного двигателя с прямоугольными сечениями ярем от относительного диаметра при $V_{\delta c} = 0,75$; $K_{Ba1(2)} = 1,8$ и коэффициентах $K_{h1} = 6$ и $K_{h2} = 9$ (а), а также $K_{h1} = 8$ и $K_{h2} = 11$ (б)

Применение ярем с трапецеидальной формой поперечного сечения (пунктирные линии на рис. 1, а) снижает максимальное значение индукции относительно аналогичного максимума исходной ЭМС ($V_{\delta c}=0,75$ Тл, $K_{Ba1(2)} = 1,8$ и, $\delta = 0,35$ мм). При этом функция $B_{\delta i(\xi_{Ai})}$ является «плавной» (рис. 2), что соответствует отсутствию (равномерному вдоль l_{δ} распределению)

насыщения ярем и повышению показателей ААД. Трапецеидальные сечения двух идентичных ярем обеспечиваются «косым» разделением развертки рулона (ленты) ЭТС двойной ширины на две «клиновидные» части.

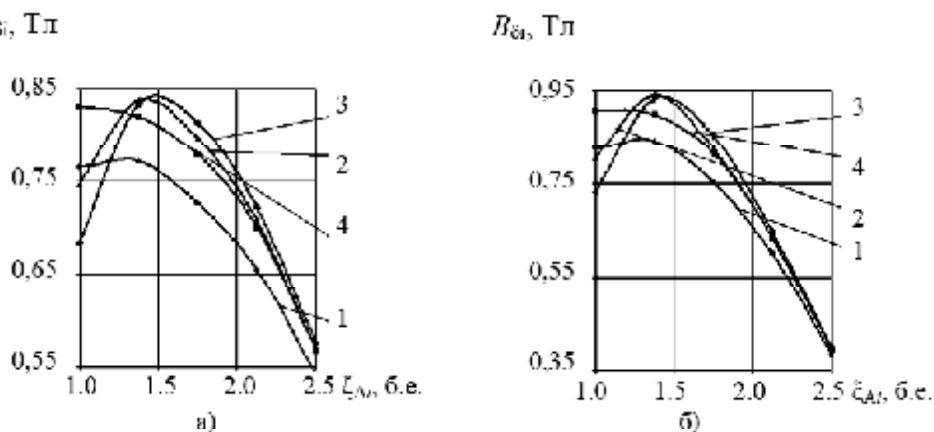


Рис.4. Зависимости распределения индукции в рабочем зазоре аксиального асинхронного двигателя с коэффициентами $K_{h1} = 6$ и $K_{h2} = 9$ (а), а также и $K_{h1} = 8$ и $K_{h2} = 11$ (б): 1 – прямоугольные ярма, $V_{\delta c} = 0,7$; $K_{Ba1(2)} = 1,8$; 2 – прямоугольные ярма, $V_{\delta c} = 0,75$; $K_{Ba1(2)} = 2,125$; 3 – прямоугольные ярма, $V_{\delta c} = 0,75$; $K_{Ba1(2)} = 2,45$; 4 – трапецеидальные ярма, $V_{\delta c} = 0,75$

Выводы. 1. Снижение материалоемкости магнитопровода и ЭМС ААД в целом достигается сочетанием повышения индукции и использования трапецеидальных конфигураций сечений ярем. 2. Вид функции распределения $B_{\delta i}(\xi_{Ai})$ и реального распределения $B_{\delta}(R)$ в зазоре ААД зависит от изменения, в зависимости от геометрических соотношений, насыщения слоев ЭТС зубцов и ярем (в ярямах и зубцах насыщение возрастает соответственно в направлении D_H и D_B). 3. Разработанная методика расчета $B_{\delta}(R)$ в функции ξ_{Ai} и оптимизационной координаты ξ_A обеспечивает возможность учета особенностей распределения магнитного поля при оптимизационном параметрическом синтезе ААД.

Список использованных источников:

1. Загрядцкий В.И. Торцевые асинхронные электродвигатели и совмещенные электромеханические агрегаты / В.И. Загрядцкий, Е.Т. Кобяков, Ю.С. Степанов. – М. : Машиностроение, 2003. – 287 с.
2. Ставинский А. А. Сравнительный анализ массо-стоимостных показателей асинхронных двигателей с цилиндрическим и аксиальным рабочим зазором / А. А. Ставинский, О. О. Пальчиков // Электротехника і електромеханіка. – 2015. – № 3. – С. 20-26.

3. Ставинский А. А. Сравнительный анализ потерь активной мощности асинхронных двигателей с цилиндрическим и аксиальным рабочим зазором / А. А. Ставинский, О. О. Пальчиков // Электротехника і електромеханіка. – 2015. – № 5. – С. 31-35.
4. Caricchi F. Axial flux electromagnetic differential induction motor/ F. Caricchi// 17th Int. Conf. on Electrical Machines and Drives. Institution of Engineering and Technology (IET), 11-13 Sept, 1995. – pp. 1-5.
5. Igelspacher J. Analytical description of a single-stator axial-flux induction machine with squirrel cage/ J. Igelspracher, H.G. Herzog// XIX Int. Conf. on Electrical Machines (ICEM 2010). Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 6-8 Sept. – 2010, pp. 1-6.
6. Profumo F. Axial flux machines drives: a new viable solution for electric cars/ F/ Profumo, Z. Zheng, A. Tenconi// IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 1997, Vol. 44, №1, pp. 39-45.
7. http://www.axcmotors.com/axial-flux_technology.html
8. Пашков Н. И. Проектирование четырехполюсных асинхронных двигателей малой мощности торцевого исполнения / Н. И. Пашков, В. И. Кисленко, В. П. Оноприч // Техническая электродинамика. – 1993. – №5. – С. 32-37.
9. Гольдберг О. Д. Проектирование электрических машин / О. Д. Гольдберг, И. С. Свириденко. – М. : Высшая школа, 2006. – 431 с.
10. Игнатов В.А. Исследование распределения магнитного поля в активном объеме торцевых электрических машин с витым магнитопроводом / В.А. Игнатов, А.А. Ставинский, И. Г. Забора // Электротехника. – 1983. – № 8. – С. 27-30.
11. Полошков Н. Е. Исследование торцевых электрических машин с использованием пакета ANSYS / Н. Е. Полошков, К. С. Федий // Известия высших учебных заведений «Электромеханика». – 2008. – № 2. – С. 21-24.
12. А.с. СССР. 788275 МПК Н02К1/06/ А.А. Ставинский. – № 2739200; заявл. 22.09.1979; опубл. 15.12.1980, Бюл. №46.

А. А. Ставинський, О. О. Пальчиков, О. О. Плахтир. Розподіл індукції в робочому зазорі аксіального асинхронного двигуна.

Створено математичну модель розрахунку розподілу магнітної індукції в робочому зазорі аксіального асинхронного двигуна з витим магнітопроводом виходячи з рівності магніторушійних сил кожного коаксіального шару електромагнітної системи. Використовувались вирази апроксимації даних таблиць магнітних напруг зубців і ярем. Виконано аналіз впливу конструктивно-геометричних параметрів магнітного кола на форму кривої розподілу індукції в зазорі.

Ключові слова: аксіальний асинхронний двигун, індукція в робочому зазорі, магніторушійна сила, магнітне коло.

A. Stavinskii, O. Plakhtyr, O. Palchykov. Distribution of induction in the working gap of axial induction motor.

The mathematical model for calculating the distribution of the magnetic induction in the working gap of the axial induction motor with wound magnetic core on the basis of equality magnetic motive force of each layer of the coaxial electromagnetic system was made. The approximating expressions of data tables of magnetic stress on jags and yokes were used. The analysis of the impact of structural and geometric parameters of the magnetic circuit on the shape of the distribution curve of induction in the gap was made.

Key words: axial induction motor, induction in the working gap, magnetic motive force, magnetic circuit.

ЗМІСТ

ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

- О. М. Вишнеvsька, Н. В. Бобровська.** Адаптаційний підхід у гарантуванні екологічної безпеки держави3
- Н. М. Сіренко, А. В. Бурковська, Т. І. Лункіна.** Соціальна відповідальність ведення бізнесу в Україні..... 13
- В. І. Криленко.** Регіональні аспекти інноваційної політики розвитку аграрного сектора 20
- І. В. Белоус.** Перспективи розвитку виноградарства і виноробства Миколаївської області України 26
- В. П. Рибачук.** Загальнодержавний та регіональний вимір ефективності аграрного виробництва України..... 38

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ НАУКИ

- В. В. Гамаюнова, В. І. Шевель.** Формування врожайності та якості зерна сортів проса залежно від строку сівби та фону живлення в умовах Півдня України 50
- Л. К. Антипова.** Облистяність – важливий показник якості корму сортозразків люцерни..... 62
- В. Ф. Дворецький, Т. В. Глушко.** Формування продуктивності пшениці ярої під впливом сучасних рiстрегулюючих речовин на Півдні України 69
- В. П. Миколайко.** Фотосинтетичний потенціал та інтенсивність квіткоутворення цикорію коренеплідного на насіння залежно від агротехнологічних прийомів його вирощування..... 79
- Ю. І. Івасюк.** Продуктивність посівів сої за роздільного та інтегрованого застосування мікробіологічного препарату, регулятора росту рослин і гербіциду 89
- М. О. Бойко.** Вплив густоти посіву та строків сівби на продуктивність гібридів сорго зернового в умовах Півдня України 96
- Л. В. Постоленко.** Ріст та розвиток смородини чорної залежно від використання мульчування та зрошення 104

А. М. Лихочвор. Вплив добрив на формування продуктивності рижію	116
А. С. Патрєва. Перспективи міжнародного співробітництва України у сфері безпечності та якості харчових продуктів	124
І. Б. Баньковська. Аналіз якості туш і м'яса свиней різних комерційних генотипів	135

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

L. Vakhonina. Interaction of harmonic waves with a thin elastic circular inclusion under conditions of smooth contact	145
А. А. Ставинский, О. О. Пальчиков, О. О. Плахтырь. Распределение индукции в рабочем зазоре аксиального асинхронного двигателя	159
D. Marchenko. Tribological research on the process of wear of a friction pair «cable block – rope» considering rolling slippage .	169
Ю. О. Кірічек, В. О. Гряник. Інформаційне забезпечення моніторингу земель та створення територіальних геоінформаційних систем кадастру нерухомості	180
А. П. Галєєва, В. А. Грубань. Обґрунтування параметрів технологічного модуля для збирання кукурудзи на зерно ..	194
Н. А. Доценко. Особливості класифікації системи управління якістю підприємств з урахуванням вимог міжнародних стандартів	202