

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
ADMIRAL MAKAROV NATIONAL UNIVERSITY OF SHIPBILDING



ПЕРША МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ
СТУДЕНТІВ, АСПІРАНТІВ І МОЛОДИХ НАУКОВИХ РОБІТНИКІВ

**ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧІ
СИСТЕМИ І КОМПЛЕКСИ**

ІКСК-2004

1-th International Scientific – and Technical Conference
of Students, Post-Graduates and Young Scientists
“Information-and-control systems and complexes”

МАТЕРІАЛИ



МИКОЛАЇВ 2004 MYKOLAIV

УДК 004

У-45

Інформаційно-керуючі системи і комплекси: Матеріали 1-ї Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів, молодих вчених. – Миколаїв: НУК, 2004. – 292 с.

У збірнику подані матеріали 1-ї Міжнародної НТК “Інформаційно-керуючі системи і комплекси”, яка присвячена року Польщі у Україні та 1-й річниці створення Інституту автоматики і електротехніки Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова.

Розглянуті питання теорії, практики та розвитку вимірювальних систем і комплексів, електронних і комп’ютеризованих систем, інформаційної безпеки, а також нетрадиційних інформаційних і електромеханічних систем різноманітних галузей промисловості.

Збірник може бути корисним для наукових співробітників, викладачів, інженерів та студентів.

Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами. Претензії до організаторів не приймаються.

Література: 1. Бесекерский В.Я., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования.—М., 1972.—768 с. 2. Уайт Д., Вудсон Г. Электромеханические преобразователи энергии.—М.-Л., 1964.—528 с.

ДИСКОВЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ КОНТРРОТОРНОГО ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ

П. Паплицки, М. Вардах

Польша, Щецинский Политехнический Институт

Известны перспективные решения, базирующиеся на использовании в качестве двигательно-движительных комплексов соосных гребных винтов, вращающихся в противоположные стороны и обеспечивающих повышение надёжности, а также кпд электромеханического и гидродинамического преобразования энергии [1, 2]. Применение высокоэнергетических постоянных магнитов (ПМ) в электрических двигателях (ЭД) с зубцово-лазовой структурой статора приводит к появлению реактивных зубцовых моментов (РЗМ) или моментов залипания, причём чем выше интенсивность магнитного поля, тем более резко проявляется этот эффект. Это послужило предметом исследований с целью выработки технических рекомендаций как по уменьшению степени влияния нежелательных реактивных зубцовых моментов, так и недопущению их появления при работе двигателя.

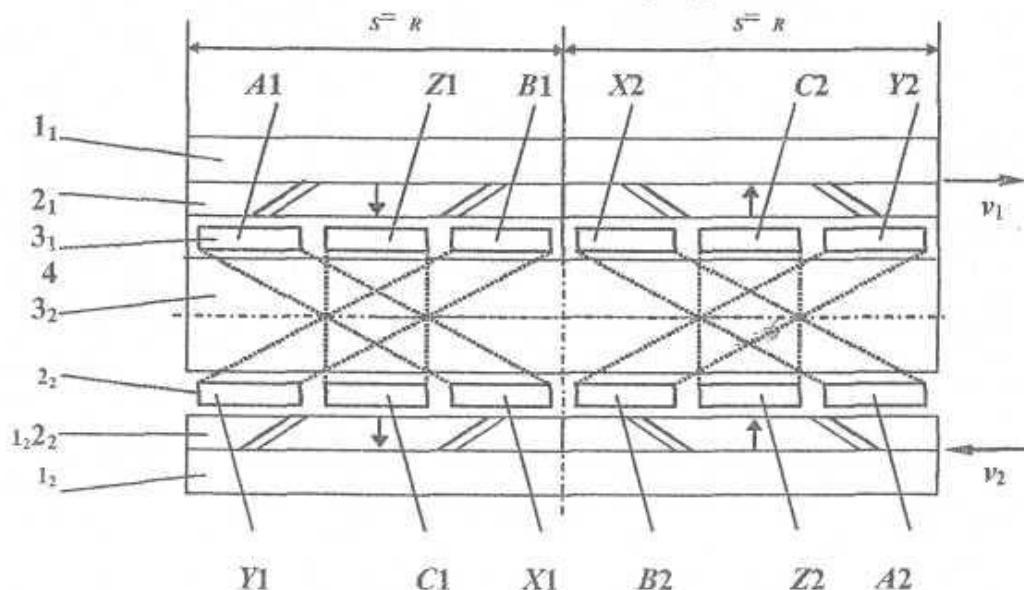


Рис. 1. ЭД со схемой размещения ОУ на сторонах статорного диска

Для получения в ЭД вращения дисков ротора во взаимно противоположных направлениях обмотки статора выполняются с фор мированием волн бегущего в разные стороны электромагнитного поля в рабочих зазорах [1]. Контрроторное синхронное движение дисков ротора обеспечивается за счёт соответствующего выполнения и размещения обмоток управления (ОУ) на каждой из сторон статора с питанием их от трёхфазного реверсивного инвертора. ЭД на рис. 1 имеет беспазовый (гладкий) статор торOIDальной формы навитый из стальной ленты 4, с расположенными на нём трёхфазными обмотками управления $3_1, 3_2$, закреплёнными на каждой из его сторон. Статор может быть в виде как гладкой беспазовой [1], так и с зубцово-пазовой структурой. Составной ротор содержит диски с размещёнными на них ПМ 2_1 и 2_2 и ферромагнитными ярмами $1_1, 1_2$. Диски ротора симметричны относительно статора и вращаются синхронно, но в противоположных направлениях со скоростями $v_1=v$ и $v_2=-v$. ОУ могут быть как однослойными, так и многослойными, а общее число их на статорном диске равно $2 \cdot 2 \cdot p \cdot m$ (где: p – число пар полюсов, m – число фаз двигателя). Каждая из ОУ имеет по две активные части на каждой из поверхностей статора, а токи ОУ взаимодействуют с магнитными полями, возбуждаемыми ПМ ротора. ОУ отдельных фаз объединяются в звезду или треугольник.

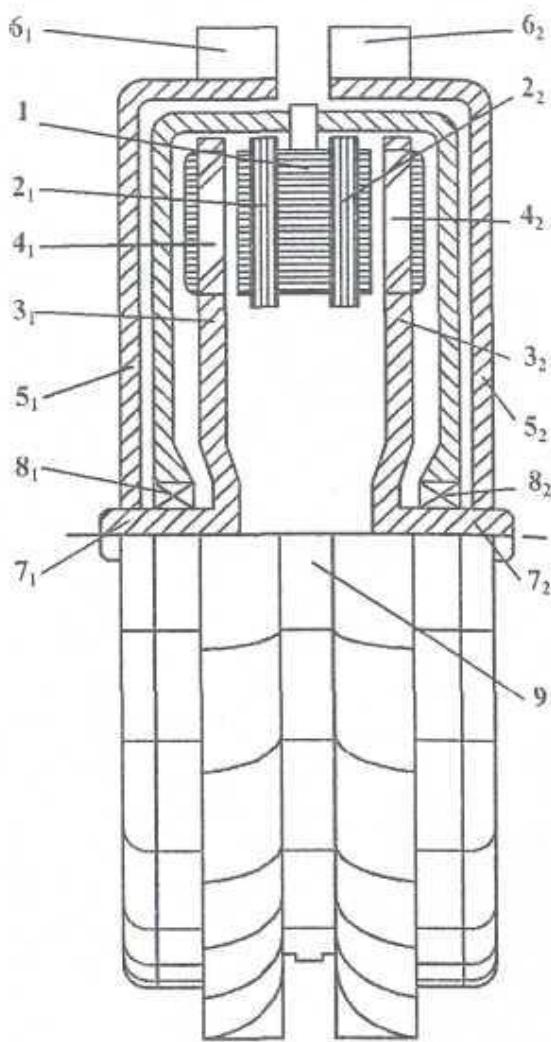


Рис. 2. Схематичний вид контрроторного дискового ЭД

Питание от инвертора реализуется по алгоритму, учитывающему положение полюсов ротора относительно волны мдс ОУ статора.

Конструктивное исполнение ЭД показано на рис. 2. На торOIDальном статоре 1 в размешён набор трёхфазных ОУ $2_1, 2_2$. Ротор состоит из двух дисков $3_1, 3_2$ с ПМ $4_1, 4_2$ и ферромагнитными ярмами с внешних сторон. Статор отделен от ротора зазорами. Электромагнитный момент (ЭМ) передаётся наружу посредством валов $7_1, 7_2$, расположенных в подшипниках $8_1, 8_2$. К валам подсоединенны диски $5_1, 5_2$ с гребными винтами $6_1, 6_2$. Вся конструкция вмонтирована в водонепроницаемом корпусе 9 с уплотнениями.

На рис. 3 показано конструктивное выполнение ЭД с зубцово-пазовым (рис. 3а) и гладким (рис. 3б) статором.

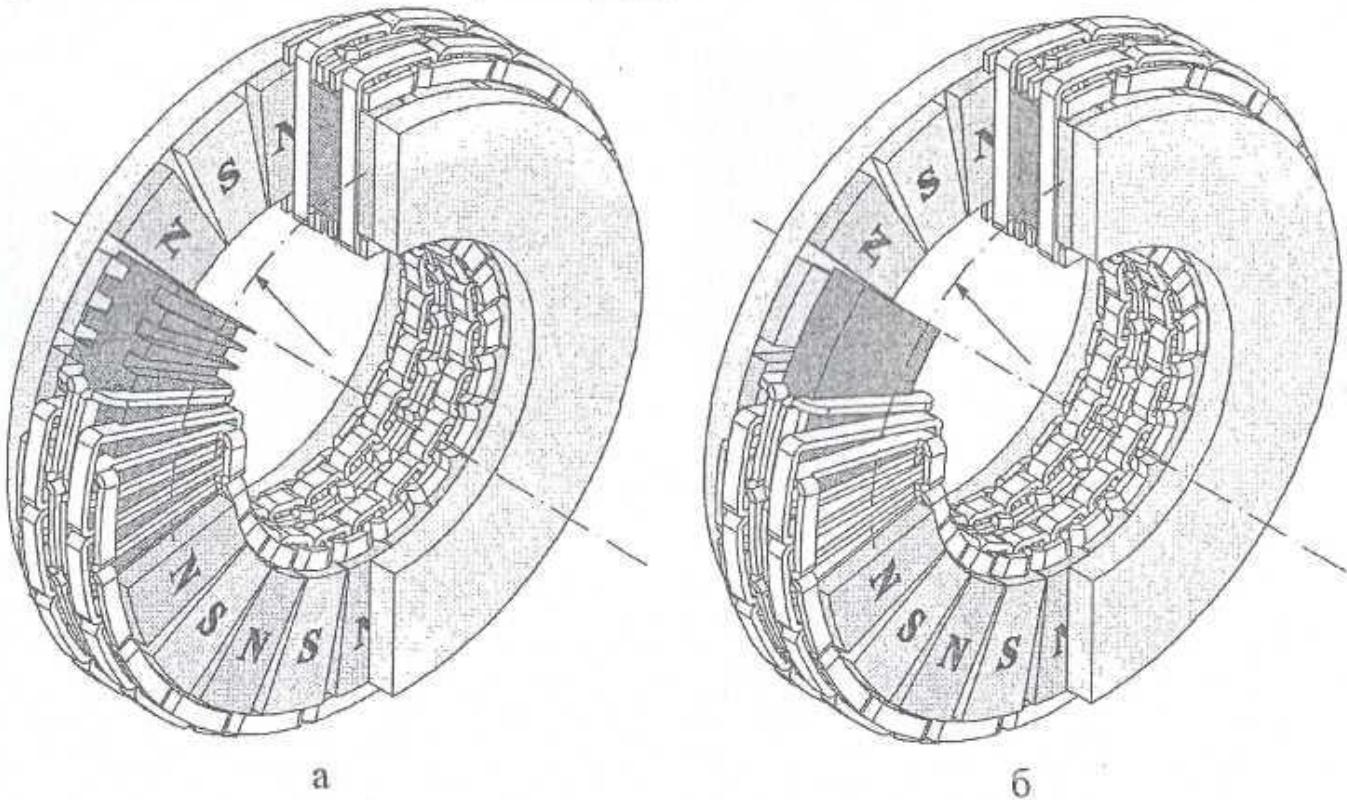


Рис. 3. Конструкции ЭД с зубцово-пазовым – а) и гладким – б) статором

Исследования электромагнитных и магнитных моментов выполнены методом конечных элементов (МКЭ) в пакете прикладных программ FLUX 3D. С учётом симметрии и периодичности структур для моделирования выбран фрагмент модели, равный 1/10 части ЭД (угол раствора 36°). Число полюсов ЭД составляет $2p=20$, а в качестве ПМ выбраны редкоземельные магниты типа NdFeB с параметрами: $B_r=1,2$ Тл; $H_{CB} = 910$ кА/м; высота ПМ $h_{PM}=5,0$ мм. Полюсные деления статора и ротора $\tau_s=\tau_r=19,63$ мм на среднем

радіусе r_{av} , зубцовий шаг моделі $\tau_z = \tau_s / 6 = 3,27$ мм (6° кутового раствору) на r_{av} . Висота ярма рівна $h_{Fe} = 8,0$ мм. Ширина сердечника статора $b_s = 20,0$ мм. Розміри паза: глибина $h_p = 5,0$ мм; ширина $b_p = 4,0$ мм; зазор $\delta = 1,0$ мм. ОУ виконані медним проводом з удельною електропровідністю $\gamma_{Cu} = 57,0$ м/Ом·мм², поперечним сеченням $S_{Cu} = 2,0 \times 5,0$ мм², довжиною активної частини $l_{Cu} = 35,0$ мм. ОУ об'єднані в трохфазну систему з 20 обмотками на фазу з кожної з сторін статора. Величини зовнішнього; внутрішнього та середнього діаметрів: $D_e = 160,0$ мм, $D_i = 90,0$ мм, $D_{av} = 125,0$ мм. Соотношення між D_i та D_e : $D_i/D_e \approx 0,577$ дозволяє оптимально використовувати площину диска та отримати максимум ЕМ.

Для розрахунку генерувалася мережа з 78 649 вершинами та 614 912 елементами. На рис. 5 показані полярні моделі зубцово-пазової (рис. 5а) та гладкої (рис. 5б) структур.

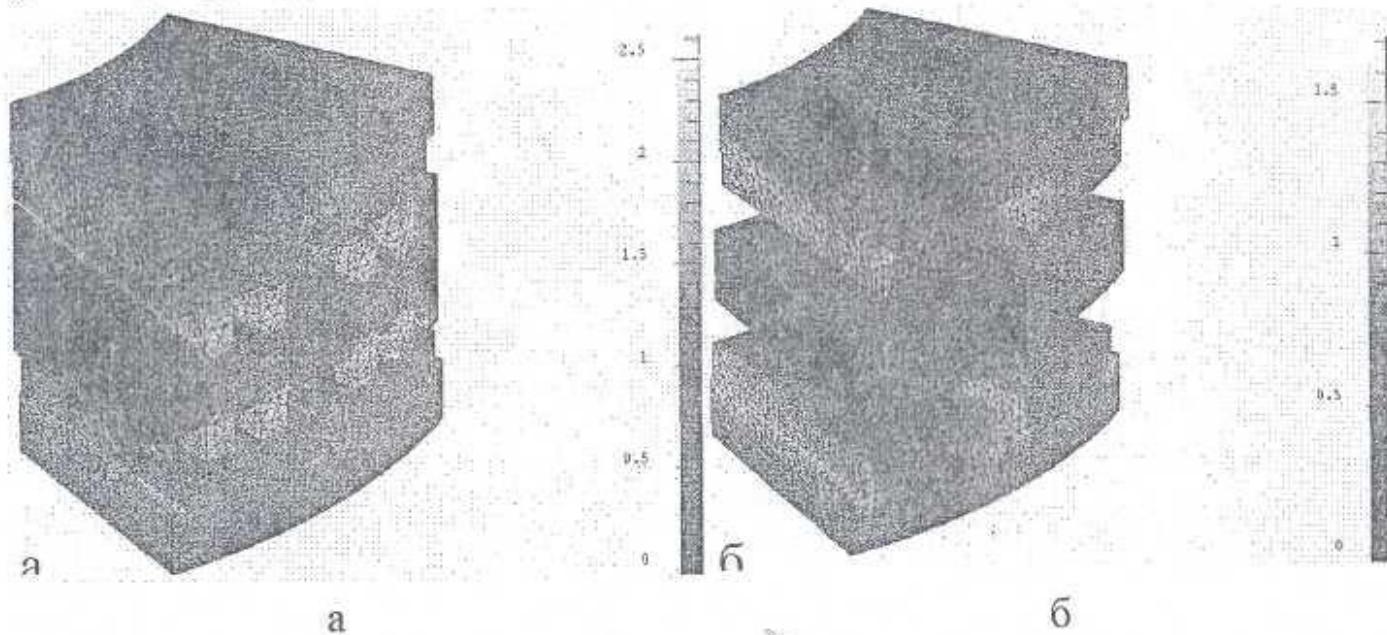


Рис. 5. Полярні моделі зубцово-пазової – а) та гладкої - б) структур статора

Для дослідження ЕМ та РЗМ застосувався метод виртуального обертання. На рис. 6 показано розподілення РЗМ: $M_q = f_1(\alpha)$ – (рис. 6а) та ЕМ: $M_e = f_2(\alpha)$ – (рис. 6б) моделей з зубцово-пазовою структурою.

Дослідження виконані при обесточенні статора та обертанні дисков ротора в протилежних напрямках в діапазоні від $\alpha_0 = 0^\circ$ до $\alpha_k = 12^\circ$ (в геометрических градусах) з кроком $\alpha_i = 0,5^\circ$. Максимальна величина РЗМ $M_{q1max} = 12,5$ Нм, а для ЕД $M_{qmax} = 10 \cdot M_{q1max} = 125,0$ Нм.

Угловая зависимость РЗМ модели с зубцово-пазовым статором показана на рис. 6а: угол поворота изменялся на величину τ_z (от $\alpha_0=0,5^\circ$ до $\alpha_k=6,5^\circ$) с дискретой $\alpha_i=0,5^\circ$. Действующие на вращающиеся диски ротора вправо РЗМ-1, влево РЗМ-2 идентичны и на рис. 6а совпали.

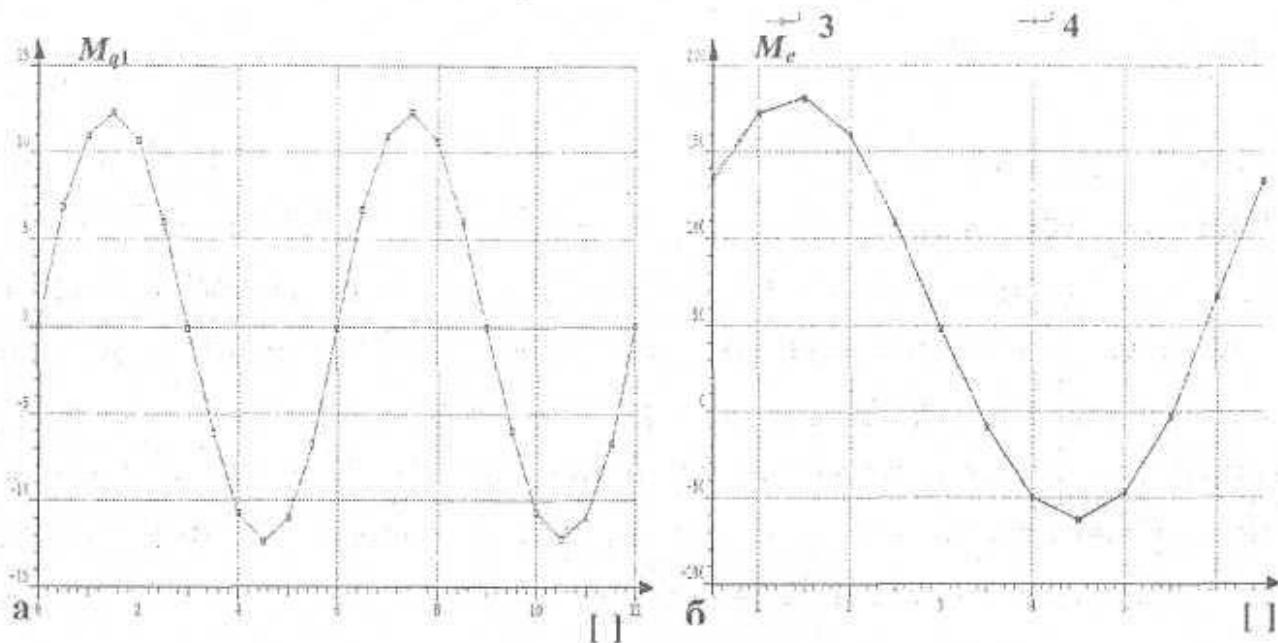


Рис. 6. Зависимость РЗМ $M_{q1}=f_1(\alpha)$ - а) и ЭМ $M_e=f_2(\alpha)$ - б) от угла поворота ротора

Из рассмотрения рис. 6б следует, что величина ЭМ в модели с зубцово-пазовым статором весьма значительна и варьируется в пределах от $-63,5$ Нм до $181,13$ Нм, при этом среднее значение ЭМ на одной из сторон равно: $M_{eav}=65,0$ Нм.

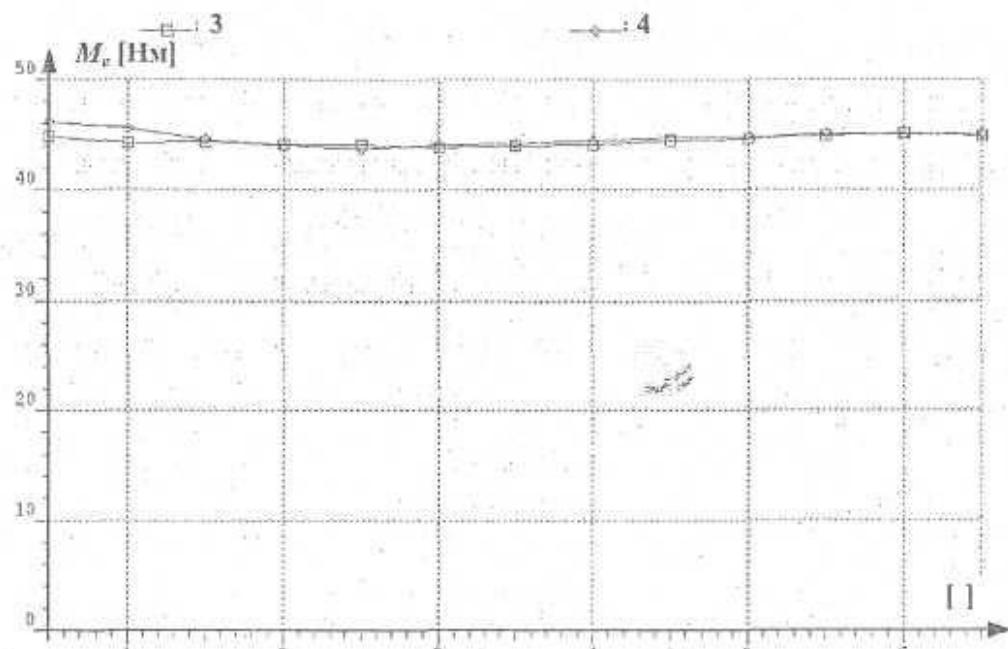


Рис. 7. Угловая зависимость ЭМ модели ЭД с гладкой структурой статора
Угловая зависимость ЭМ модели с гладким статором показана на рис. 7.

Действующие на вращающиеся диски ротора вправо электромагнитные моменты ЭМ-3, и влево ЭМ-4 идентичны и на рис. 7 совпали. Отсутствуют пульсации ЭМ в диапазоне углов: $[\alpha_0=0,5^\circ; \alpha_k=6,5^\circ]$. Среднее значение ЭМ для вращающихся как вправо, так и влево дисков ротора составляет по модулю: $|M_{eav}| = 42,0$ Нм.

Заключение

Способ реализации движущихся в противоположные стороны волн электромагнитного поля может использоваться для построения дисковых ЭМПЭ контроторного движения применительно к турбо-винтовым движительным комплексам объектов морской техники с уменьшенными гидродинамическими потерями и соответственно более высоким (на 10-25 %) кпд по сравнению с равноупорными одиночными винтами. Структуры с гладким статором являются предпочтительными с точки зрения получения на выходных валах постоянных ЭМ и плавности движения, отсутствия РЗМ и уменьшенного шума и вибраций. В конструкциях с зубцово-пазовым статором и открытыми пазами возникают значительные паразитные моменты залипания и пульсации. ЭМПЭ с зубцово-пазовой структурой статора имеют больший электромагнитный момент, но для применения их в качестве движителей должны применяться полу-закрытые пазы или магнитные клинья (магнето-капсулированные пазы) вместе со скосом боковых граней магнитных полюсов.

Література: [1] А.А.Афонін „Об одном способе формирования бегущих волн электромеханических преобразователей энергии”, *Доповіді Національної Академії Наук України*, №9, 2003, сс. 88-96. [2] F.Carichi, F.Crescimbini, E.Santini „Basic principle and Design Criteria of Axial-Flux PM Machines Having Counterrotatig Rotors”, *IEEE Trans. of Ind. Appl.*, vol. 31, No 5, May 1995, pp. 1026-1068.