

УДК 621.313.333

А. А. Ставинский, д-р техн. наук,
О. О. Пальчиков

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТИХОХОДНЫХ БИРОТАТИВНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА ОСНОВЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОНТРРОТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация. С использованием метода относительных коэффициентов показателей технического уровня показано снижение массы и стоимости электромеханической части тихоходного биротативного электропривода на базе асинхронного контрроторного двигателя со скользящим контактом относительно двухдвигательного варианта с традиционными асинхронными двигателями половинной мощности.

Ключевые слова: осевой вентилятор, гребной винт, встречное вращение, биротативный асинхронный двигатель, внешний и внутренний статор-ротор, масса, стоимость

A. Stavinskii, ScD.,
O. Palchykov

IMPROVEMENT OF LOW-SPEED TWO-ROTOR ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES BASED ON THE SPECIAL COUNTER ROTATING MOTOR

Abstract. The weight and cost reduction of the electromechanical units of low-speed two-rotor drives based on the induction counter rotating motor with sliding contact compared to two motors drives based on the conventional half-power induction motors is proven analytically by the method of the relative indications of the technical level.

Keywords: axial fan, propeller, counter rotation, two-rotor induction motor, external and internal stator-rotor, weight, cost

A. A. Stavinskii, d-r техн. наук,
O. O. Palchykov

УДОСКОНАЛЕННЯ ТИХОХІДНИХ БІРОТАТИВНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НА ОСНОВІ СПЕЦІАЛЬНИХ КОНТРРОТОРНИХ ДВИГУНІВ

Анотація. З використанням методу відносних коефіцієнтів показників технічного рівня доведено зниження маси і вартості електромеханічної частини тихохідного біротативного електроприводу на базі асинхронного контрроторного двигуна з ковзним контактом відносно двохдвигунного варіанту з традиційними асинхронними двигунами половинної потужності.

Ключові слова: осьовий вентилятор, гребний гвинт, зустрічне обертання, біротативний асинхронний двигун, зовнішній і внутрішній статор-ротор, маса, вартість

Введение. Основным направлением развития электромеханических систем в XXI веке является комплексное энергосбережение и внедрение ресурсосберегающих технологий [8, 9]. В дополнение к традиционным способам совершенствования элементной базы, повышение технико-экономических показателей электроприводов возможно также их системным преобразованием [4, 7]. Как известно, сдвоенное исполнение и встречное вращение гребных движителей, осевых вентиляторов и насосов позволяет повысить пропульсивный коэффициент и КПД на 10...15 %, а также снизить уровни вибрации и шума [1, 4, 10]. Препятствием широкому внедрению конструктивных схем механизмов со встречным вращением является ухудшение массогабаритных и энергетических показателей при использовании двух приводных двигателей и сложность металлоемкой соосной редукторно-валопроводной передачи мощности. Одним из решений проблемы может быть электропривод на основе асинхронных контрроторных двигателей (АКРД). Использование АКРД также достигается компенсация добавочных гироскопических нагрузок, возникающих в условиях, например маневрирования, килевой и бортовой качки

судна, что позволяет снизить материалоемкость подшипниковых узлов и другой конструктивной части [2, 7]. Известны два принципиальных варианта АКРД [3, 7]: секционированный на основе радиальной и аксиальной электромагнитных систем (ЭМС) и с контактным статором-ротором. Массогабаритные и энергетические показатели второго варианта на основе редукции частоты вращения соответствуют вдвое меньшему числу полюсов. Исходя из изложенного, возникает задача сравнения вариантов и создания экономичного и компактного тихоходного биротативного привода.

Цель работы – определение на основе метода [6] возможности снижения массы и стоимости ЭМС АКРД с контактным статором-ротором относительно ЭМС двух электромагнитно-эквивалентных классических асинхронных двигателей (АД) половинной мощности.

Изложение основного материала. Согласно указанному методу математическая модель ЭМС АД представляется совокупностью полных целевых функций

$$F_{\psi i} = \left(\sqrt[4]{\Pi_{ид}} \right)^3 K_i \Pi_{ia}^*$$

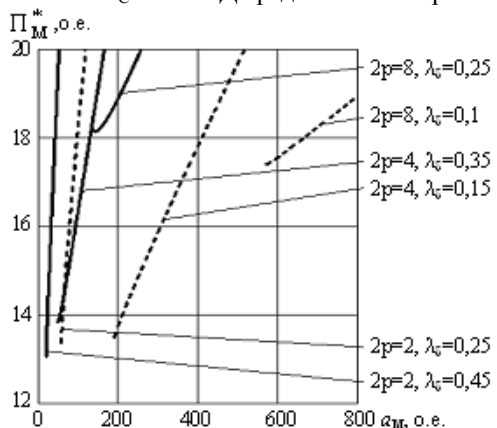
где $\Pi_{ид}$ – показатель исходных данных; K_i и Π_{ia}^* – коэффициент удельных характеристик электротехнических материалов и относительный показатель массы ($i = 1$), стоимости ($i = 2$) и потерь ($i = 3$).

При решении задачи используются две относительные геометрические управляемые переменные: традиционная относительная длина ЭМС АД λ_δ и относительный параметр диаметра a_M , определяющиеся на основе выражений

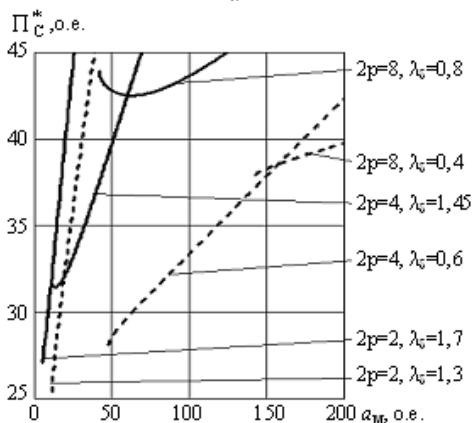
$$\lambda_\delta = l_\delta / D; a_M = D^4 / \Pi_{ИД},$$

где l_δ и D – длина и диаметр активной поверхности статора.

Результирующие относительные показатели целевых функций также содержат известные коэффициенты: заполнения паза и магнитопровода электротехнической стали $K_{зп}$ и $K_{зс}$ соответственно, укорочения шага обмотки статора β , а также расчетные соотношения: высоты паза к высоте зубца $K_{рш}$, индукции B_δ к амплитудам индукций зубца B_z и ярма $B_a - K_{Bz}$ и K_{Ba} , диаметра активных поверхностей ротора и статора K_D , изменения показателя исходных данных ротора относительно статора γ_1 , уменьшение плотности тока короткозамкнутого кольца по сравнению со стержнем γ_2 . С использованием квадратного уравнения [5] определяются относительная высота паза и ярма статора (ротора). Примеры функциональных зависимостей показателей массы Π_M^* и стоимости Π_C^* ЭМС АД представлены на рис. 1.



а



б

Рис. 1. Зависимости показателей массы (а) и стоимости (б) двухполюсной, четырехполюсной и восьмиполюсной электромагнитных систем

асинхронного двигателя с внутренним (—) и внешним (- - -) ротором соответственно

Вывод. Использование однодвигательного тихоходного асинхронного биротативного привода с контактным статором-ротором в целом предпочтительнее, так как при $2p \geq 2$ показатели массы и стоимости электромагнитной системы АКРД с внутренним ротором соответственно улучшаются до 29...36 % и 32...38 % относительно двух электромагнитно-эквивалентных традиционных АД половинной мощности, применение АКРД с внешним ротором дополнительно улучшает показатели на 1,5...3 % и 6,6...7,3 % соответственно.

Список использованной литературы

1. Брусиловский И. В. Аэродинамика осевых вентиляторов [Текст] / И. В. Брусиловский. – М. : Машиностроение. – 1984. – 240 с.
2. Пальчиков О. О. Обоснование компенсации действия сил инерции при разработке двигателей гребных электроприводов [Текст] / О. О. Пальчиков // 36. науч. праць НУК. – Миколаїв : Видавництво НУК, 2011. – № 1 (4). – С. 7 – 11.
3. Пальчиков О. О. Схемы изменения чередования катушечных групп в асинхронных секционированных контрроторных двигателях [Текст] / О. О. Пальчиков // 36. науч. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2013. – № 1. – С. 72 – 76.
4. Рубинраут А. М. Системы электродвижения судов с гребным тихоходным двигателем двойного вращения [Текст] / А. М. Рубинраут, Н. В. Бурбаева – М. : Электричество. – 1999. – № 6. – С. 7 – 13.
5. Ставинский А. А. Определение геометрических соотношений активной части асинхронных двигателей погружного, высокооборотного и обращенного лей погружного, высокооборотного и обращенного исполнений [Текст] / А. А. Ставинский, О. О. Плахтырь, О. С. Вансач // *Електромашинобудування та електрообладнання*: – К. : Техніка. – 2001. – № 57. – С. 67 – 72.
6. Ставинский А. А. Показатели качества и структурной оптимизации пространственных электромагнитных систем трехфазных трансформаторов, реакторов и дросселей [Текст] / А. А. Ставинский, О. О. Плахтырь, Р. А. Ставинский // *Електротехніка і електромеханіка*. – Харьков : – 2003. – № 4. – С. 79 – 82.
7. Ставинский А. А. Совершенствование судовых электромеханических систем встречного вращения на основе специальных асинхронных двигателей [Текст] / А. А. Ставинский – С.-Пб. : Судостроение. – 2011. – № 6. – С. 35 – 38.
8. Herrero Sola A., Mota C., and Kovaleski J., (2011), A Model for Improving Energy Efficiency in Industrial Motor System using Mlticriteria Analysis, *Journal Energy Policy of International Atomic Energy Agency (IAEA) Publ*; Amsterdam, The Netherlands, Vol. 39; Iss. 6, pp. 3645 – 3654.

9. Parasiliti F., and Villani M., (2000), Evaluation of the Design Options and Cost Impact of Improving Induction Motor Efficiency, *Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives*, by Bertoldi, Springer-Verlag Publ., Berlin, Germany, pp. 514 – 528 (In English).

10. Fang F., and Chen Q.G., (2012), Numerical Analysis of Noise Characteristics of a Contra-Rotating axial fan, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. Publ.*, Vol. 15, Iss. 4, 9 p. (In English),
url: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/15/4/042028>.

Получено 06.06.2014

References

1. Brusilovskii I.V. Aerodinamika osevykh ventilatorov [Aerodynamics of Axial Fans], (1984), Moscow, Russian Federation, *Mashinostroenie Publ.*, 240 p. (In Russian).

2. Palchykov O.O. Obosnovanie kompensatsii deistviia sil inertsii pri razrabotke dvigatelyi grebnykh elektroprivodov [Justification of the Compensation of the Inertia Forces in the Development of Rowing Electric Drives], (2011), *Zb. Nauk. Prats' NUK Publ.*, Mykolaiv, Ukraine, No. 1 (4), pp. 7 – 11 (In Russian).

3. Palchykov O.O. Skhemy izmeneniia cheredovaniia katushechnykh grupp v asinkhronnykh sektionirovannykh kontrrotornykh dvigatelyakh [Schemes of Changing of the Coil Groups Alternation in Induction Partitioned Counter Rotating Motors], (2013), *Zb. Nauk. Prats' NUK Publ.*, Mykolaiv, Ukraine, No. 1, pp. 72 – 76 (In Russian).

4. Rubinraut A.M., and Burbaeva N.V. Sistemy elektrodvizheniia sudov s grebnym tikhokhodnim dvigatelem dvoynogo vrashcheniia [Lectric Propulsion Systems for Vessels with the low-speed Double Rotation Rowing Motor], (1999), *Elektrichestvo Publ.*, Moscow, Russian Federation, No. 6, pp. 7 – 13 (In Russian).

5. Stavinskii A.A., Plakhtyr' O.O., and Vansach O.S. Opredelenie geometricheskikh sootnoshenii aktivnoi chasti asinkhronnykh dvigatelyi pogruzhnogo, vysokosobornogo i obrashchennogo ispolnenii [Determination of Geometric Relationships of the Active Part of Motors of Submersible, High-Speed and Inverted Versions], (2001), *Elektromashinobuduvannia and Elektroobladnannia: Mizhvid. Nauk. Tekhn. Zb. Publ.*, Kiev, Ukraine, No. 57, pp. 67 – 72 (In Russian).

6. Stavinskii A.A., Plakhtyr' O.O., and Stavinskii R.A. Pokazateli kachestva i strukturnoi optimizatsii prostanstvennykh elektromagnitnykh sistem trekhfaznykh transformatorov, reaktorov i drosselei [Indicators of the Quality and the Structural Optimization of Spatial Electromagnetic Systems of Three-Phase Transformers, Reactors and Chokes], (2003), *Elektrotekhnika and Elektromekhanika Publ.*, Kharkiv, Ukraine, No. 4, pp. 79 – 82 (In Russian).

7. Stavinskii A.A. Sovershenstvovanie sudovykh elektromekhanicheskikh sistem vstrechnogo vrashcheniia na osnove spetsial'nykh asinkhronnykh dvigatelyi [Improving Marine Counter Rotating Electromechanical Systems Based on Specific Induction Motors], (2011), *Sudostroenie Publ.*, St. Petersburg, Russian Federation, No. 6, pp. 35 – 38 (In Russian).

8. Herrero Sola A., Mota C., and Kovaleski J. (2011), A Model for Improving Energy Efficiency in Industrial Motor System using Multicriteria Analysis, *Journal Energy Policy of International Atomic Energy Agency (IAEA) Publ.*, Amsterdam, Netherlands, Vol. 39, Iss. 6, pp. 3645 – 3654 (In English).

9. Parasiliti F., and Villani M., (2000), Evaluation of the Design Options and cost Impact of Improving Induction Motor Efficiency, *Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives*, by Bertoldi, Springer-Verlag Publ., Berlin, Germany, pp. 514 – 528 (In English).

10. Fang F., and Chen Q.G., (2012), Numerical Analysis of Noise Characteristics of a Contra-Rotating Axial Fan, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. Publ.*, Vol. 15, Iss. 4, 9 p. (In English),
url: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/15/4/042028>.



Ставинский
Андрей Андреевич,
д-р техн. наук, проф., зав. каф.
Нац. ун-та кораблестроения им.
адм. Макарова.
54025, г. Николаев, Украина,
пр. Героев Сталинграда, 9.
Тел. (0512) 39 94 53.



Пальчиков
Олег Олегович, аспирант
Нац. ун-та кораблестроения им.
адм. Макарова, 54025, г. Нико-
лаев, Украина, пр. Героев Ста-
линграда, 9).
Тел. (0512) 55 96 89.
E-mail: ole2013hulk@yandex.ua