

УДК 621.313.333.2

**Р.Н. ЕНОКТАЕВ****РАЗРАБОТКА РЕГУЛИРУЕМЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ**

Завдання адаптації електромашинної частини регульованих асинхронних приводів до специфічних умов роботи вирішується як завдання структурно-параметричної оптимізації регульованих асинхронних двигунів. Виконано обґрунтоване зіставлення структур двигунів і вибір оптимальної комбінації параметрів. Для проектування регульованих асинхронних двигунів використані комплексні математичні моделі керування електроприводів, що забезпечують спільний розгляд перетворювачів, двигунів і механізмів.

**Ключові слова:** регульований асинхронний двигун, оптимізаційне проектування, автоматизований вибір, критерій проектування, модифікований критерій приведених витрат електроприводу, структурно-параметрична оптимізація.

Задача адаптации электромашинной части регулируемых асинхронных приводов к специфическим условиям работы решается как задача структурно-параметрической оптимизации регулируемых асинхронных двигателей. Выполнено обоснованное сопоставление структур двигателей и выбор оптимальной комбинации параметров. Для проектирования регулируемых асинхронных двигателей использованы комплексные математические модели управляемых электроприводов, обеспечивающие совместное рассмотрение преобразователей, двигателей и механизмов.

**Ключевые слова:** регулируемый асинхронный двигатель, оптимизационное проектирование, автоматизированный выбор, критерий проектирования, модифицированный критерий приведенных затрат электропривода, структурно-параметрическая оптимизация.

The problem of the adaptation of the motor-controlled asynchronous drives to the specific conditions of work is solved as a problem of structural and parametric optimization of controlled asynchronous motors. Achieved an informed comparison of the structures of the engines and the choice of the optimal combination of parameters. For the design of controlled asynchronous motors used complex mathematical models of controlled electric drives, providing joint consideration converters, motors and mechanisms. Apply design criteria relating both to the regulated induction motor, and to all Motor Control. When using modified criteria given electric costs are taken into account, such as the financial aspects of the costs of production and operation of the engine and drive, inflationary processes. This criterion is coordinated with the range of criteria efficiency by a factor of significance operate.

**Keywords:** adjustable induction motor, design optimization, automated selection, design criteria, a modified criterion given electric costs, structural and parametric optimization.

**Введение.** Энергосбережение (рационализация производства, распределения и использования всех видов энергии) стало в последние годы одним из приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира.

Опережающий рост стоимости энергоносителей привел к тому, что энергетическая составляющая в себестоимости готовой продукции на предприятиях достигает 20-60 %. Поэтому чрезвычайную актуальность приобретает разработка комплекса технических и организационных мероприятий, направленных на оптимальное использование энергетических ресурсов [1].

Самыми актуальными разработками асинхронных двигателей (АД) сейчас являются высокоэффективные (с повышенным КПД) и частотно-регулируемые, в том числе тяговые для транспортных средств, различной мощности и назначения [2].

Правильное применение регулируемого электропривода (РЭП) приводит к повышению энергетической эффективности, повышению уровня автоматизации технологического процесса.

Разработка технико-экономического предложения, обосновывающего решение о внедрении РЭП, должна базироваться в каждом конкретном случае на технико-экономическом анализе, учитывающем все факторы эффективности [1,2]. Для анализа работы и проектирования регулируемых асинхронных двигателей (РАД) управляемых электроприводов необходимо совместное рассмотрение преобразователей, двигателей и

механизмов [2]. Такой подход реализован в программе DIMASDrive [3].

Задача адаптации электромашинной части регулируемых асинхронных приводов к специфическим условиям работы может решаться как комбинированная задача структурно-параметрической оптимизации (СПО) РАД [2,4].

Решение задач СПО проводится в такой последовательности:

- структурный синтез – формирование определенного набора допустимых структур системы;
- параметрическая оптимизация сформированных структур;
- выбор оптимального варианта.

При формировании допустимых структур ставится задача выбора нескольких вариантов технических решений системы привода и ее компонентов.

Обоснованное сопоставление структур и выбор оптимальной комбинации технических решений может быть произведено только из множества рассматриваемых структур с оптимизированными параметрами. Поэтому трудоемкость задачи проектирования обусловлена не только необходимостью формирования множества рациональных структур РАД, но и необходимостью решения задачи параметрической оптимизации для каждой сформированной структуры. Последнее обстоятельство повышает значимость применения эффективных методов параметрической оптимизации РАД [2,5,6].

© Р.Н. Еноктаев, 2016

В контурах структурной и параметрической оптимизаций могут использоваться как одинаковые, так и разные критерии оптимизации.

Для общепромышленных АД основного исполнения целевая функция, как правило, функция приведенных затрат (ПЗ) на производство и эксплуатацию. Для узкоспециализированных машин критериями оптимальности могут быть и другие показатели, определяемые потребителем. При проектировании РАД для приводов с полупроводниковыми преобразователями, как и при выборе серийных АД для этих приводов, могут использоваться также такие критерии, как масса, габариты, стоимость двигателя или диапазонные критерии – энергетические показатели двигателя. Особые диапазонные критерии оптимальности обуславливают специфику их определения. В настоящее время проектируются и производятся энергоэффективные серии общепромышленных АД и аналогично следует разрабатывать РАД [2].

**Постановка задачи.** Рационально при проектировании энергосберегающих электродвигателей использовать в качестве проектного критерия КПД, максимум которого достигается в результате параметрической оптимизации. Проектирование РАД необходимо выполнять с учетом требования работы в определенном диапазоне частот вращения и это обстоятельство определяет специфику критерия оптимальности.

Обоснованным является выбор диапазонного критерия КПД, что обеспечит минимизацию энергетических потерь во всем диапазоне регулирования от  $n_1$  до  $n_2$ :

$$\eta_{ср} = \frac{1}{n_2 - n_1} \int_{n_1}^{n_2} \eta(n) dn. \quad (1)$$

Вместе с тем, предлагаемый диапазонный критерий КПД не учитывает финансовые аспекты, такие как затраты на изготовление и эксплуатацию двигателя и привода, коэффициент инфляции и другое. Такой учет осуществляется при использовании критерия ПЗ, который в случае проектирования РАД является также среднediaзонным. При модификации критерия ПЗ электропривода необходимо учитывать влияние на критерий инфляционных процессов, поскольку нормативные сроки окупаемости РАД достаточно продолжительные (5-8 лет) [7]. Кроме того, за время службы двигателя энергетическая составляющая ПЗ в несколько раз превышает составляющую, связанную с капитальными затратами, поэтому первостепенным является оптимизация энергетической составляющей.

Модифицированный критерий ПЗ электропривода необходимо согласовать с критерием КПД, т.е. приблизить их экстремумы. Для этого используется коэффициент значимости эксплуатации  $k_{зэ}$ . Целесообразно также введение в модифицированный критерий ПЗ коэффициента инфляции  $k_{инф}$ , который учитывает процессы обесценивания денежной массы.

Следует отметить, что при работе РАД в составе современных частотно-регулируемых электроприводов из-за близости коэффициента мощности привода к 1 из выражения критерия ПЗ электропривода может быть исключена составляющая, соответствующая стоимости компенсации реактивной энергии [7].

С учетом вышесказанного выражение для модифицированного критерия ПЗ электропривода имеет вид:

$$ПЗ_{эм} = \frac{C_{эн}}{k_{зэ}} + C_{эн} \cdot (k_{ам} + k_{об}) \cdot k_{инф} + C_{па} \cdot k_{инф}, \quad (2)$$

где  $C_{эн}$  – стоимость электропривода;  
 $C_{па}$  – стоимость потерь активной энергии;  
 $k_{ам}$  – коэффициент, учитывающий амортизационные отчисления;  
 $k_{об}$  – коэффициент, учитывающий затраты на обслуживание электропривода;  
 $k_{зэ}$  – коэффициент значимости эксплуатации  $k_{зэ}$ ;  
 $k_{инф}$  – коэффициент инфляции.

$$k_{зэ} = \frac{C_{эн}}{ПЗ_{эн} - C_{эн} \cdot (k_{ам} + k_{об}) \cdot k_{инф} - C_{па} \cdot k_{инф}} \quad (3)$$

Аналогичным образом выполнена модификация критерия ПЗ для проектирования общепромышленных АД.

Одной из основных проблем является обеспечение используемой в АД изоляции обмотки статора определенного класса нагревостойкости в заданном диапазоне регулирования и при заданных типе и величине нагрузки на валу АД требуемой температуры.

Установка независимой вентиляции на электродвигатель в значительной степени расширяет диапазон регулирования скорости двигателя. Однако при выборе такого охлаждения целесообразно рассмотреть главные параметры независимой вентиляции с целью получения оптимального технического решения. Правильный выбор независимой вентиляции должен быть экономически обоснован (массогаба-ритностойкостные показатели) и обеспечить надежную и эффективную (допустимые температуры конструктивных частей двигателя и высокие энергетические показатели в процессе эксплуатации) работу АД в течение определенного ресурса времени [8].

**Результаты исследований.** В качестве примера решения задачи СПО далее рассмотрен привод с транзисторным преобразователем частоты (Altivar 58, 1500 у.е., 15 кг,  $\eta_{пр} = 0,94$ ) с автономным инвертором напряжения. Преобразователь имеет стандартные номинальные настройки ( $U_{ном} = 380$  В и  $f_{ном} = 50$  Гц) и частоту ШИМ 4 кГц. В качестве нагрузки использовалась “лифтовая нагрузка” с неизменным моментом 75 Нм. Рассматривался диапазон регулирования 300 – 2200 об/мин. Бустерное напряжение отсутствовало. Исследовался двигатель 4A160S4У3 с соединением обмоток статора звездой. При этом двигатель работал в двух диапазонах: до 50 Гц с номинальным потоком и свыше 50 Гц с ослабленным потоком. Использован модуль

независимого охлаждения фирмы «Kurt Maier Motor-Press GmbH», Германия (Marelli Force Vent Fan MAA 160-2 S RBK, 282 у.е., 5,1 кг, 2819 об/мин, 156 Вт) [9].

Массогабаритностоимостные параметры модуля независимого охлаждения включены в показатели РЭП. При этом, в связи с отсутствием вентилятора, массогабаритностоимостные показатели двигателя уменьшаются.

В связи с отсутствием вентилятора самоохлаждения механические потери двигателя существенно снижаются. В то же время увеличивается потребляемая приводом мощность, так как она включает в себя мощность двигателя независимого вентилятора. Снижение перегрева конструктивных частей машины при независимом охлаждении способствует увеличению срока службы двигателя [8].

Выполнено опреление коэффициента значимости эксплуатации ( $k_{33}$ ) для согласования максимума КПД и минимума ПЗ электропривода (ПЗ<sub>ЭП</sub>). Экстремумы этих критериев зависят только от варьируемых переменных, отвечающих массогабаритностоимостной составляющей. При согласовании экстремумов по выбранным критериям получен коэффициент  $k_{33} = 18$ .

В ряде опытов моделирования были рассмотрены следующие структуры двигателей: серийный с самохлаждением (1), с измененным числом параллельных ветвей с самохлаждением (2), серийный с независимым охлаждением (3), с измененным числом параллельных ветвей с независимым охлаждением (4).

В табл. 1 приведены значения проектных критериев и конструктивных изменений вышеуказанных двигателей.

Таблица 1 – Проектные критерии и конструктивные изменения

Двигатели	Самоохлаждение		Независимое охлад.	
	Серийный	С измененным числом параллельных ветвей.	Серийный	С измененным числом параллельных ветвей.
Показатели				
ПЗ <sub>ЭП</sub> , у.е.	2995	2982	3152	3139
$\eta_{ЭП}$	82,5	82,8	83,2	83,5
$\eta_{АД}$	84,2	84,5	84,9	85,1
Масса ЭП, кг	134	135	137	137
Стоимость ЭП, у.е.	2439	2445	2708	2714
$a$	2	1	2	1

На рис. 1 представлены зависимости изменения температуры перегрева обмотки статора для четырех вариантов.

Рассматриваемые варианты удовлетворяют температурному ограничению (принятому классу нагривостойкости F).

Для этих двигателей проведен ряд опытов параметрической оптимизации с использованием модифицированного критерия ПЗ<sub>ЭП</sub> и критерия КПД.

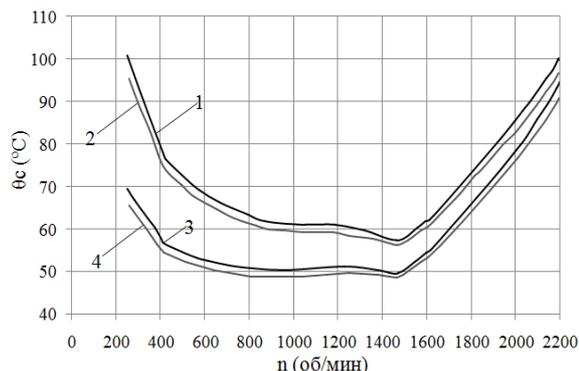


Рис. 1 – Зависимости изменения температуры перегрева обмотки статора: 1 – серийный АД с самохлаждением, 2 – АД с измененным числом параллельных ветвей с самохлаждением, 3 – серийный АД с независимым охлаждением, 4 – АД с измененным числом параллельных ветвей с независимым охлаждением

В качестве варьируемых параметров выбраны длина пакета статора двигателя ( $L$ ) с диапазоном изменения от 0,9 до 1,1 базового значения, частота, на которую проектируется обмотка статора ( $f$ ) с диапазоном изменения от 0,8 до 1,2 базового значения. Изменение частоты предполагает автоматическое изменение числа витков ОС ( $W_1$ ), сечения эффективного проводника ОС ( $q_{эф}$ ), диаметра обмоточного провода ( $d_{пр}$ ).

В табл. 2 приведены значения проектных критериев и конструктивных изменений при использовании двух вышеуказанных критериев проектирования.

Таблица 2 – Проектные критерии и конструктивные изменения

Двигатели	Оптимизированный по критериям:							
	КПД				ПЗ <sub>ЭП</sub>			
	Серийный		С измененным числом параллельных ветвей.		Серийный		С измененным числом параллельных ветвей.	
Показатели	Сам. №1	Нез. №3	Сам. №5	Нез. №7	Сам. №2	Нез. №4	Сам. №6	Нез. №8
ПЗ <sub>ЭП</sub> , у.е.	2950	3111	2941	3097	2949	3104	2944	3100
$\eta_{ЭП}$	83,7	84,3	83,9	84,5	83,6	84,4	83,7	84,4
$\eta_{АД}$	85,3	86,0	85,5	86,2	85,3	86,1	85,4	86,1
Масса ЭП, кг	140	143	141	144	140	143	140	143
Стоимость ЭП, у.е.	2488	2755	2494	2762	2485	2756	2489	2757
$f$ , Гц	56,5	55,2	56,5	56,5	57,1	57,3	58	58
$L$ , мм	142,9	142,8	142,9	142,9	142,2	142,7	141,3	141,3
$a$	2	2	1	1	2	2	1	1
$W_1$	99	101	99	99	98	98	97	97
$q_{эф}$ , мм <sup>2</sup>	2,772	2,708	5,73	5,73	2,80	2,84	5,89	5,89

На рис.2 представлені регулювальні характеристики 8-ми оптимізованих двигателів.

Нумерація характеристик відповідає варіанту розташування двигателів в табл.2.

Был проведен автоматизированный выбор лучшего из 8-ми полученных в результате оптимизационного проектирования двигателя по обобщенному критерию. Результаты представляются в виде экспертных оценок в баллах. При автоматизированном выборе эти экспертные оценки выбираемого АД формируется по принципу, описанному в работе [8].

Технические показатели (массогабаритно-стоимостные, КПД и другие) преобразователей и модуля независимого охлаждения определены техническим заданием.

Исследования, выполненные для задачи выбора для требуемого диапазона регулирования без учета продолжительностей работы на определенных частотах вращения и работы в переходных режимах, представлены в табл.3. Результаты автоматизированного выбора получены при коэффициентах значимости всех составляющих обобщенного критерия равных 1.

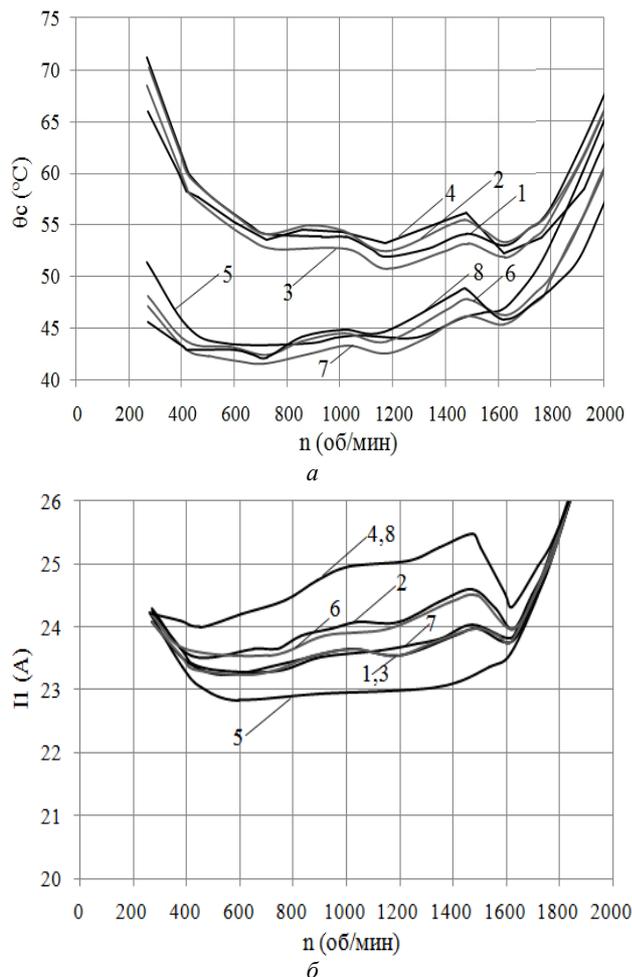


Рис. 2 – Изменение температуры перегрева обмотки статора *a*, потребляемого тока *б* в диапазоне регулирования.

Исходя из табл. 3 в требуемом диапазоне регулирования с конкретной “лифтовой” нагрузкой

предпочтительней двигатель оптимизированный по критерию КПД с измененным числом параллельных ветвей с применением независимой вентиляции.

Таблица 3 – Результаты автоматизированного выбора

Двигатели	Оптимизированный по критериям:							
	КПД				ПЗ <sub>ЭП</sub>			
	Серийный		С измененным числом параллельных ветвей.		Серийный		С измененным числом параллельных ветвей.	
Показатели	Сам. №1	Нез. №3	Сам. №5	Нез. №7	Сам. №2	Нез. №4	Сам. №6	Нез. №8
ПЗ <sub>ЭП</sub> у.е.	5,1	0	5,4	0,4	5,2	0,2	5,3	0,3
$\eta_{ЭП}$	98,9	99,6	99,2	100	98,9	99,8	99,0	99,8
$\eta_{АД}$	98,9	99,6	99,1	100	98,9	99,8	99,0	99,8
Масса ЭП, кг	2,23	0,53	1,78	0	2,45	0,45	2,25	0,46
Стоимость ЭП, у.е.	9,93	0,25	9,71	0	10	0,21	9,89	0,17

Данный двигатель оптимален только для конкретного сочетания закона регулирования и способа управления, диапазона регулирования частоты и характера нагрузки.

**Выводы.** В результате структурно-параметрической оптимизации на базе машины общего назначения в её конструкцию внесены ряд изменений, которые позволили адаптировать двигатель к условиям работы в регулируемом электроприводе.

Применение независимого охлаждения улучшает энергетические показатели электродвигателя во всем диапазоне регулирования.

Предложенный вариант структурно-параметрической оптимизации может быть осуществлен для других сочетаний законов регулирования и способов управления, диапазонов регулирования частот и характеров нагрузки.

#### Список литературы:

1. W. Jazdzynski, Deng. Multicriterial optimization of squirrel-cage induction motor design / Jazdzynski W. // *IEEE Proceedings*. – 1989. – Vol. 136, Pt. B, № 6, P. 299–307.
2. Петрушин В.С. Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе / В.С.Петрушин. – Одесса: Наука и техника, 2006. – 303 с.
3. Петрушин В.С. Пат. 4065, Украина. Программный продукт „DIMASDrive”. Программа анализа работы, выбора и проектирования асинхронных короткозамкнутых двигателей систем регулируемого электропривода / В.С. Петрушин, С.В. Рябинин, А.М. Якимец. – 2001.
4. Шабанов В.А. Постановка задачи структурно-параметрической оптимизации перекачки нефти по нефтепроводам при частотно-регулируемом электроприводе / В.А.Шабанов, С.Ф. Шарипова, Л.А. Рябишина // Нефтегазовое дело: электрон.науч. журн. / УГНТУ. – 2013. – № 6. – С. 1–24.
5. Цветков С.А. *Параметрический синтез систем автоматического управления с импульсной модуляцией сложной формы* : автореф. дис. на получение степени канд. техн. наук : спец. 05.13.01 «Электрические машины и аппараты» / С.А. Цветков. – СПб, 2009. – 15 с.
6. Куцый, Н.Н. Методика исследования алгоритмов автоматической параметрической оптимизации систем с

- интегральной широтно-импульсной модуляцией / Н.Н. Куцый, Е.А. Осипова // *Вестн. ИрГТУ*. – 2011. – № 10 (57). – С. 12–18.
7. Петрушин В.С. Модификация критерия приведенных затрат электропривода для проектирования регулируемых асинхронных двигателей / В.С. Петрушин, Р.Н. Еноктаев // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія : Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії*. – 2014. – № 38. – С. 132–137.
  8. Петрушин, В.С. Выбор модулей независимой вентиляции для регулируемых асинхронных двигателей / В.С. Петрушин, А.М. Якимец, В.Б. Бангула // *Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Проблемы автоматизованого електроприводу. Теорія і практика*. – 2013. – №36. – С.132-137.
  9. Независимое охлаждение. Marelli Force Vent Fan MAA 160-2 S RBK. – Режим доступа: <http://www.axiscontrols.co.uk/shop/force-vent-fans/marelli-fv-maa-160-2-s-rbk>. – Дата обращения : 02 апреля.2016.
- of the problem of structural and parametric optimization of pumping oil through the pipeline at a frequency-controlled electric drive]. *Neftegazovoe delo: elektron.nauch. zhurn.* 2013, no. 6, pp. 1–24.
5. Tsvetkov S.A. *Parametricheskii sintez sistem avtomaticheskogo upravleniia s impul'snoi moduliatsiei slozhnoi formy: avtoref. dis. na poluchenie stupeni kand. tehn. nauk* : spec. 05.13.01 "Jelektricheskie mashiny i aparaty" [Parametric synthesis of automatic control systems, pulse modulation of complex shape. Abstract of a thesis dr. eng. sci. diss. 05.13.01 "Electrical machines and apparatus"] Odesa. 2009. 15 p.
  6. Kutsyi, H.H., Osipova E.A. *Metodika issledovaniia algoritmov avtomaticheskoi parametricheskoi optimizatsii sistem s integral'noi shirotno-impul'snoi moduliatsiei* [Methods of study of algorithms of automatic parametric optimization systems with integrated pulse width modulation]. *Vestn. IrGTU*. 2011, vol. 57, no. 10, pp. 12–18.
  7. Petrushin V.S., Enoktaev R.N. Modifikatsiia kriteriia privedennykh zatrat elektroprivoda dlia proektirovaniia reguliruemykh asinkhronnykh dvigatelei [Modification of the criterion given electric costs for the design of controlled asynchronous motors] *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu "KhPI". Seriia : Elektrichni mashini ta elektromekhanichne peretvorennia energii*. 2014, no 38, pp. 132–137.
  8. Petrushin, V.S., Iakimets A.M., Bangula V.B. Vybore modulei nezavisimoi ventilatsii dlia reguliruemykh asinkhronnykh dvigatelei [Selecting an independent ventilation modules for controlled asynchronous motors]. *Sbornik nauchnykh trudov "Vestnik NTU "KhPI" : Problemi avtomatizovanogo elektroprivodu. Teoriia i praktika*. 2013, no. 2. pp.132-137.
  9. Независимое охлаждение. Marelli Force Vent Fan MAA 160-2 S RBK [Independent cooling. Marelli power Vent fan MAA 160-2 with RBC] Available at : <http://www.axiscontrols.co.uk/shop/force-vent-fans/marelli-fv-maa-160-2-s-rbk>. (accessed 02.04.2016)

## References (transliterated)

1. W. Jazdzynski. Deng. Multicriterial optimization of squirrel-cage induction motor design. *IEEE Proceedings*. 1989. vol. 136, pt. B, no. 6, pp. 299–307.
2. Petrushin V.S. *Asinkhronnye dvigateli v reguliruемом электроприводе* [Induction motors in the regulated electric drive]. Odessa. Nauka i tekhnika, 2006. 303 p.
3. Petrushin V.S., Rjabinin S.V. and Iakimets' A.M. *Programmyj produkt "DIMASDrive"*. *Programma analiza raboty, vybora i proektirovaniia asinkhronnykh korotkozamknytykh dvigatelej sistem reguliruемого jelektroprivoda* ["DIMASDrive" software product. Program performance analysis, selection and design of asynchronous motors short-regulated electric drive systems]. Patent UA, no.4065. 2001.
4. Shabanov V.A., Sharipova S.F., Riabishina L.A. Postanovka zadachi strukturno-parametricheskoi optimizatsii perekachki nefti po nefteprovodam pri chastotno-reguliruемом электроприводе [Statement

Поступила (received) 14.09.2016

## Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Розробка регульованих асинхронних двигунів із застосуванням структурно-параметричної оптимізації / Р.М. Єноктаєв** // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – №11 (1183). – С.110–114. – Библиогр.: 9 назв. – ISSN 2409-9295.

**Разработка регулируемых асинхронных двигателей с применением структурно-параметрической оптимизации / Р. Н. Еноктаев** // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 11 (1183). – С.110–114. – Библиогр.: 9 назв. – ISSN 2409-9295.

**Development of controlled asynchronous motors with structural and parametric optimization / R.N. Yenoktaiev** // *Bulletin of NTU "KhPI"*. Series: "Electric machines and electromechanical energy conversion." – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No.11 (1183). – P.110–114. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2409-9295.

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Єноктаєв Ростислав Миколайович**, аспірант Одеського національного політехнічного університета, 65044, Одеса, проспект Шевченка, 1, ОНПУ, тел. (097)046-30-70. E-mail: rostik-enok@inbox.ru

**Єноктаєв Ростислав Николаевич**, аспірант Одеського національного політехнічного університета, 65044, Одеса, проспект Шевченка, 1, ОНПУ, тел. (097)046-30-70. E-mail: rostik-enok@inbox.ru

**Yenoktaiev Rostislav Nikolaievich**, Postgraduate at the Department of Electric Cars, ONPU, 65044, Odessa, Shevchenko av.,1,ONPU, ph. (097)046-30-70. E-mail: rostik-enok@inbox.ru