

УДК 621.313.333-213.34

В.А. Чувашев, канд. техн. наук

С.С. Наливайко, магистр

А.А. Велков, магистр

Украинский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт взрывозащищенного и рудничного электрооборудования с опытно-экспериментальным производством (УкрНИИВЭ), г. Донецк

E-mail: vach@list.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ РОТОРОВ

Анализируются результаты работ по созданию асинхронных двигателей мощностью до 200 кВт, показано, что технические характеристики двигателей нового поколения, созданных в Украине, не уступают данным американских и европейских фирм.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, литая медная обмотка ротора, эффективность

Постановка задачи. Асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым ротором являются одним из самых распространенных видов электропривода в различных отраслях промышленности и при этом потребляют значительную часть вырабатываемой электроэнергии. Поэтому во многих развитых странах постоянно ведутся поисковые работы по повышению их энергетических показателей.

Совершенствование АД осуществляется по одному или обоим из следующих направлений: применение литых медных короткозамкнутых обмоток роторов (ЛМКОР); применение электротехнических сталей с уменьшенными потерями.

Анализ исследований и публикаций. Работы по разработке АД с ЛМКОР обычно идут по следующим вариантам: 1) отработка технически и экономически эффективного способа заливки медью обмоток роторов; 2) заливка медью обмоток роторов с имеющейся конфигурацией пазов двигателей, заливаемых ранее алюминием. В этом направлении проведены исследования Акционерной ассоциацией развития меди США [1]. Методом кокильного литья под давлением было отлито 140 роторов мощностью от 3 до 19 кВт. Анализ результатов испытаний двигателей (7 роторов с ЛМКОР) мощностью 15 л.с. (11,2 кВт) при числе пар полюсов $2p = 4$ показал, что коэффициент полезного действия (КПД) составил $90,7 \pm 0,1 \%$, т.е. увеличился на 1,2 % по сравнению с обмотками ротора, залитыми алюминием. При этом потери в обмотке уменьшились в среднем на 40 % (составили 157 вместо 261 Вт), а добавочные потери (измеренные) – на 23 % (со 137 до 105 Вт).

Механические потери (вентиляционные и на трение ротора о воздух) уменьшились на 37 % (со 115 до 72 Вт) за счет более качественных медных отливок, не имеющих на своей поверхности «крылышек»; при этом обдув лобовых частей обмотки статора осуществлялся специальными вентиляторами на валу, что одновременно позволило уменьшить расход меди. Потери в обмотке статора при медной и алюминиевой обмотках ротора были неизменными (507 Вт), а потери в стали – 286 Вт. В результате общие потери уменьшились на 179 Вт (1127 вместо 1306 Вт), т.е. на 14 %. Уменьшение потерь дает экономию электроэнергии 1600 кВт.ч в год при работе в продолжительном режиме непрерывно.

В двигателях с ЛМКОР произошло снижение $\cos \phi$ с 0,815 до 0,79 и скольжения с 2,22 до 1,37 %, т.е. за счет увеличения частоты вращения соответственно возрастает нагрузка (при неизменной рабочей машине), которую авторы предлагают регулировать с помощью выбора размеров шкивов. Температура обмотки статора снизилась на 5 °С, что способствует увеличению ресурса изоляции.

Моментные характеристики АД с ЛМКОР (при таких же пазах, как у роторов с алюминиевой обмоткой) имели пониженные показатели:

- начальный пусковой момент уменьшился на 6 %;
- момент трогания (динамический) – на 36 %;
- максимальный момент – на 17 %.

Однако авторы отмечают, что таких значений моментов достаточно в связи с тем, что у АД с алюминиевой обмоткой ротора значения указанных моментов были существенно завышены.

Длина сердечников статора и ротора была уменьшена в открытом исполнении на 7,2 %; в закрытом – на ~ 20 %.

У АД мощностью 25 л.с. (18,5 кВт) при испытании с ЛМКОР потери в обмотке ротора снизились на 40 %, общая сумма потерь – на 23 %; температура обмотки – на 29 °С.

Испытания АД различной мощности показали, что потери в обмотках с ЛМКОР уменьшились на 40...58 % по сравнению с алюминиевой обмоткой.

В таблице 1 авторы [1] приводят предельные значения КПД, достигнутые различными исследователями США при применении ЛМКОР в АД с $2p = 4$.

Таблица 1 – Значения КПД, достигнутые в США

P_2 , кВт	КПД, %	Повышение КПД по сравнению с алюминиевой обмоткой ротора, %	Снижение общих потерь, %
7,5	86,5	1,5	10,0
11,2	90,7	1,2	11,4
90	92,8	1,4	16,3
200	93,0	1,0	12,5

В Италии и Франции в 2004 г. проведены исследования АД мощностью 3; 7,5 и 15 кВт ($2p = 4$) с ЛМКОР в комбинации с электротехнической сталью высшего качества [2]. Совместно с университетом L'Aquila (Италия) над проектом работали три известные в Европе компании: Thyssen Krupp ES Acciai Speciali Terni (Италия) – европейский лидер по производству электротехнических сталей; Lafert S.P.A. (Италия) – изготовление сердечников статора и ротора, намотка статора и сборка прототипа с ЛМКОР; Favi (Франция) – компания, специализирующаяся на изготовлении ЛМКОР литьем под давлением. Активные части и конфигурация пазов статора и ротора были приняты по аналогии с АД, обмотки роторов которых заливаются алюминием.

Результаты исследований отдельных АД этого типа с электротехнической сталью высшего качества марки 5350 Н (удельные потери 3,5 Вт/кг и высокая магнитная проницаемость), а также со сталью марки 8050 (удельные потери 5,5 Вт/кг) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследований АД

Мощность P_{2H} , кВт	Параметр АД	Материал обмотки ротора/ марка стали			Снижение суммы потерь			
		Al/8050	Cu/8050	Cu/5350 Н	Cu		Cu+5350 Н	
					Вт	%	Вт	%
3	КПД, %	82,0	84,1	84,5				
7,5		84,2	87,4	88,1				
15		90,1	91,0	91,9				
3	Суммарные потери, Вт	655	563	545	92	14,0	110	16,8
7,5		1401	1077	1035	324	23,1	366	26,1
15		1634	1473	1316	161	9,9	318	19,5

Таким образом, заливка обмоток роторов медью позволила уменьшить сумму потерь в АД на 18...23 % и повысить КПД на 0,9...3,2 %. Применение улучшенной электротехнической стали позволило уменьшить потери в стали на 23..24 %, увеличить КПД на 0,4...0,9 %, а совместно с меднозалитыми обмотками роторов КПД повышается на 1,8...3,9 %. Это весьма высокие показатели.

Цель работы. Обобщить результаты разработки, изготовления и испытаний взрывозащищенных АД с ЛМКОР в диапазоне мощностей до 200 кВт, определить технические характеристики, достигнутый уровень энергетических показателей и пути дальнейшего их совершенствования.

Результаты исследований. В УкрНИИВЭ с семидесятых годов прошлого столетия проводятся работы по применению ЛМКОР взрывозащищенных АД. На первом этапе такие АД применялись преимущественно в добычной технике угольной промышленности (врубных машинах, комбайнах, конвейерах, скрепероструговых установках и т.п.), работающих в сложных условиях при нестабильном напряжении с частыми пусками и резкопеременной нагрузкой. Необходимость в таких АД была обусловлена тем, что АД с залитыми алюминием обмотками ротора (ЛАКОР) при разработке крепких и вязких горных пород и угля были недостаточно эффективными: имели недостаточную мощность в заданных размерах, низкую перегрузочную способность и энергетическую эффективность, что снижало надежность и долговечность добычной техники и приводило к росту эксплуатационных затрат.

Двигатели добычной техники имеют жесткие ограничения по высоте корпуса (отсюда и по диаметру статора) при требовании достижения максимальной мощности, высоких кратностей пусковых (на уровне 2,0...2,2) и максимальных моментов (не менее 2,5...2,6). Все это приводит к максимально возможному повышению удельных нагрузок на активные материалы, и, следовательно, к снижению КПД на 1,5...2,5 % по сравнению с АД общего применения.

Впервые в УкрНИИВЭ и Украине создана технология изготовления роторов с ЛМКО для АД мощностью от 1 до 400 кВт. Технология ориентирована на применение отечественных материалов и технологического оборудования.

Для улучшения моментных характеристик АД с ЛМКОР в УкрНИИВЭ разработаны и внедрены в практику расчетов и изготовления: 1) выбор наиболее рациональных форм пазов ротора; 2) оптимизация

геометрических размеров пазов ротора; 3) применение специального пускового слоя в пазах ротора для повышения пусковых моментов АД, предназначенных для работы со значительными моментами сопротивления при пуске.

Оптимальная высота паза ротора определяется конкретно для каждого типоразмера АД. При этом функцией цели при оптимизации размеров паза ротора принят энергетический КПД (по минимуму затрат у потребителя).

Оптимизация формы и размеров паза ротора позволила увеличить перегрузочную способность, коэффициент мощности $\cos \varphi$ при максимально возможном КПД, момент трогания и устранить провалы рабочей зоны моментной характеристики. При необходимости повышения начального пускового момента применяется пусковой слой в верхней части каждого паза с использованием свойств анизотропии сплава меди по высоте паза. Высота пускового слоя определяется по результатам оптимизационного расчета.



Рисунок 1 – Сердечники роторов с литой медной обмоткой взрывозащищенных асинхронных двигателей

В Украине по технологии УкрНИИВЭ изготовлено 1950 роторов с ЛМКО для АД мощностью от 3 до 400 кВт (рисунок 1). Лабораторные испытания показали, что КПД двигателей с меднозалитыми обмотками роторов увеличивались на 1,6...3,0 %, снизилась температура обмоток, улучшились механические характеристики (рисунок 2 и 3).

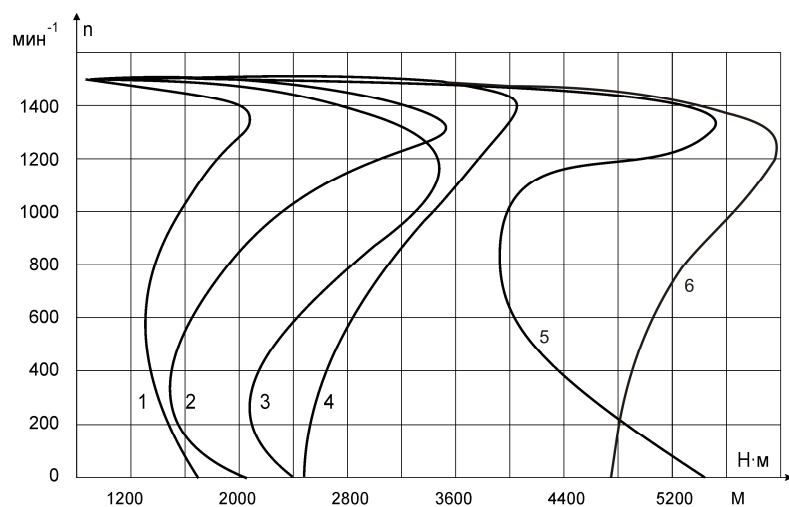


Рисунок 2 – Механические характеристики двигателей ЭКВ4-160, dksWa 600/1-4EN и 2ЭКВ5-315

На рисунке 2 представлены зависимости момента M от частоты вращения n двигателя ЭКВ4-160 мощностью 160 кВт, напряжением 660 В: ротор №1 с ЛАКОР и двухклеточным пазом, №2 и №3 – глубокий паз; №4 – с литой медной обмоткой; АД типа dksWa 600/1-4EN мощностью 315 кВт, напряжением 1140 В со сварной стержневой медной обмоткой (кривая 5) и АД 2 ЭКВ5-315 мощностью 315 кВт, напряжением 1140 В с литой медной обмоткой (ротор №2, кривая 6).

Анализ результатов испытаний этих АД показал: 1) потери в обмотке ротора уменьшились на 25...30 % (в других АД – на 30...40 %); 2) потери в стали снизились в среднем на 6 % (в связи с изменениями структуры и свойств электротехнической стали при заливке медью и ее сплавами); 3) уменьшились добавочные потери от поперечных токов в роторе (в связи с увеличением сопротивления перехода от обмотки к сердечнику); 4) уменьшился ток и потери в обмотке статора (в связи со снижением потребляемой мощности); 5) КПД повысился на 2,0...2,5 %; $\cos \varphi$ – на 0,04...0,06 (в связи с уменьшением высоты паза ротора и его индуктивного сопротивления); 6) максимальный момент увеличился на 30...40 % (при сохранении неизменным пускового момента) за счет анизотропии удельной

электропроводности материала паза ротора (пусковой слой); 7) в моментной характеристике отсутствуют провалы, что предотвращает застревание ротора на промежуточной частоте вращения; 8) превышение температуры обмотки статора снизилось на 15...20 °С при неизменной мощности (в связи с уменьшением общих потерь в АД); 9) уровень звукового давления снизился на 14...20 дБА за счет влияния сплава на основе меди, обеспечивающего частичное демпфирование свободных и резонансных колебаний тока от высших гармонических; 10) длина активных частей уменьшилась на 13...22 % при неизменной мощности.

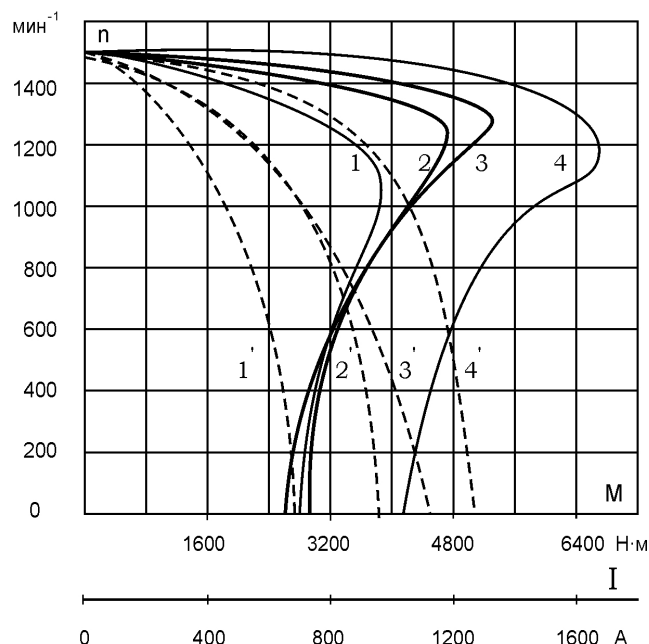


Рисунок 3 – Механические M (сплошные кривые) и токовые (штриховые) характеристики при напряжении 1140 В двигателей: 2ЭКВ3,5-180/200 с ротором №1 (1, 1'); №2 (2, 2'); 2ЭКВ4-160-2М (3, 3'); ЭКВ5-315 (4, 4')

Опытные образцы АД с ЛМКОР были установлены в приводах очистных комбайнов К103М, КА80, 2ГШ-68Е и МК67И, проходческого комбайна 4ПП-2 и магистрального конвейера ЛУ-120. Проведенные эксплуатационные испытания в шахтных условиях показали существенное (в 1,5...2 раза) повышение производительности очистных и проходческих комбайнов, в приводе которых работали эти АД. Отказов за время эксплуатационных испытаний не отмечено. За счет повышения перегрузочной способности и мощности надежность АД возросла в 1,5...2,5 раза по сравнению с серийными аналогами.

Меднозаливные обмотки роторов позволяют существенно повысить технические характеристики и АД малых габаритов. В связи с очень низким ресурсом серийных АД с ЛАКОР привода электромеханических ключей по заказу АО «Татнефть» (РФ) была разработана технология заливки медью обмоток роторов с пусковым слоем. Это позволило существенно повысить мощность, перегрузочную способность и надежность АД типа АИММ100 ($2p = 4$) при требуемом уровне пусковых моментов.

С целью получения бездефектных отливок предложен метод оценки технологичности конструкций обмоток роторов. Обоснована необходимость введения критерия их технологичности как дополнительного условия поиска оптимального варианта.

Сравнительные характеристики опытных двигателей с ЛМКОР (в первой партии было изготовлено 15 роторов) приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительные характеристики опытных двигателей с ЛМКОР

Параметр	Тип АД			
	АИММ100S-4		АИММ100L-4	
	при материале обмотки ротора			
	Al	Cu	Al	Cu
Мощность в режиме S1, кВт	3,0	3,6	4,0	5,0
Мощность в режиме S4, ПВ-40%; Z=60 вкл./ч; FJ= 1,2	3,3	5,5	4,5	7,5
КПД, %	82,0	84,0	84,1	86,5
Вращающие моменты, Н·м:				
пусковой	50,0	50,0	65,0	68,0
максимальный	68,0	78,0	76,0	97,0

Таким образом, мощность этих АД в режиме S1 повысилась в среднем на 20...25 % при росте КПД на 2,0...2,4 % и максимальных моментов – на 15...27 %. Аналогичное повышение мощности получено у двигателя 2ЭДКОФ250LB4: с серийным ЛАКОР мощность – 110 кВт, с ЛМКОР – 133,6 кВт.

В диапазоне мощности АД с воздушным охлаждением до 90 кВт были изготовлены и испытаны образцы ЛМКОР мощностью 30 и 45 кВт ($2p = 4$). Некоторые результаты испытаний приведены в таблице 6: КПД повысился на 2,3...2,4 % по сравнению с серийными АД.

Для получения более полной информации о температуре обмоток и КПД были выполнены тепловые расчеты АД мощностью 2,2; 4,0; 18,5; 55,0; 110 кВт ($2p = 4$):

1) с ЛАКОР и серийной электротехнической сталью;

2) с ЛАКОР или ЛМКОР и со сталью с уменьшенными потерями (как у европейской стали высшего качества 5350 H).

Расчеты выполнялись при условии:

1) потери в ЛМКОР уменьшаются на ~ 50 % (пропорционально повышению проводимости меди по отношению к алюминию);

2) потери в стали, добавочные и механические остаются неизменными, т.е. увеличение одних потерь в определенной мере компенсируется уменьшением других потерь;

3) отклонение расчетных данных от опытных при ЛАКОР в пределах $\pm 5...7$ %.

Расчеты показали (таблицы 4 и 5), что в данном диапазоне мощностей:

1) ЛМКОР при использовании серийной стали уменьшает превышение температуры обмоток статора – на 5,8...9,7 °C (7,4...13,2 %) и ротора – на 17...23,6 °C (16...28 %);

2) применение улучшенной электротехнической стали позволит снизить превышение температуры обмоток статора – на 1,7...4,1 °C (2,2...4,8 %) и ротора – на 2,9...6,7 °C (3,4...6,4 %) при ЛАКОР и соответственно – на 1,7...4,2 °C (2,4...5,2 %) и на 2,8...6,7 °C (4,1...6,7 %) при ЛМКОР.

Таблица 4 – Расчетные данные двигателей с различными материалами обмоток роторов

Мощность $P_{2н}$, кВт	Превышение температуры при использовании серийной электротехнической стали и изменении материала обмотки ротора							
	обмотки статора				обмотки ротора			
	материал обмотки ротора		$-\Delta \Theta_1$		материал обмотки ротора		$-\Delta \Theta_2$	
	Al	Cu	°C	%	Al	Cu	°C	%
2,2	73,6	63,9	9,7	13,18	84,0	60,4	23,6	28
4,0	78	72,2	5,8	7,4	85,5	68,2	17,3	20,2
18,5	86	77,9	8,1	9,4	105,3	83,0	22,3	21,1
55,0	86,1	80,1	6,0	6,97	104,5	87,5	17,0	16,3
110,0	95,2	87,1	8,1	8,5	124	100,4	23,6	19,0

Таблица 5 – Расчетная оценка возможного повышения КПД

Мощность $P_{2н}$, кВт	Превышение температуры при использовании улучшенной электротехнической стали и изменении материала обмотки ротора											
	обмотки статора при ЛАКОР			обмотки ротора при ЛАКОР			обмотки статора при ЛМКОР			обмотки ротора при ЛМКОР		
	Θ_1	$-\Delta \Theta_1$		Θ_2	$-\Delta \Theta_2$		Θ_1	$-\Delta \Theta_1$		Θ_2	$-\Delta \Theta_2$	
	°C	°C	%	°C	°C	%	°C	°C	%	°C	°C	%
2,2	71,0	2,6	3,5	80,0	4,0	4,76	61,2	2,7	4,2	56,8	3,6	5,96
4,0	76,3	1,7	2,18	82,6	2,9	3,39	70,5	1,7	2,35	65,4	2,8	4,1
18,5	83,3	2,7	3,1	100,9	4,4	4,18	75,3	2,6	3,3	78,9	4,1	4,9
55,0	82,0	4,1	4,8	97,8	6,7	6,4	75,9	4,2	5,2	80,8	6,7	7,6
110,0	91,2	4,0	4,2	117,3	6,7	5,4	83,0	4,1	4,7	93,7	6,7	6,7

Расчеты изменений КПД показали (таблица 6):

1) за счет заливки обмоток роторов медью (при серийной стали) КПД повысится на 1,5...1,8 %;

2) за счет применения улучшенной электротехнической стали КПД повысится еще на 0,3...0,7 %.

Проведена расчетная оценка возможного повышения КПД за счет заливки обмоток роторов медью взрывозащищенных АД общего назначения в диапазоне мощности от 15 до 315 кВт ($2p=4$) производства ОАО «Первомайский электромеханический завод им. К.Маркса». Как следует из таблицы 6, КПД может повыситься на 1,3...2,1 %.

Произведем сравнение опытных и расчетных значений КПД взрывозащищенных АД с результатами европейских [2] и американских [1] исследователей, а также с Европейскими нормами по классам EFF1 и EFF2 [3], учитывая, что с 1997 г. запрещен ввоз в США и Канаду (а с 2000 г. – и в Европу) АД с низкой энергетической эффективностью (класса EFF3) [4, 5].

Таблица 6 – Сравнительные значения КПД двигателей по европейским нормам и США

Мощность $P_{2н}$, кВт	КПД двигателей при $2p = 4$ производства фирм, %									
	Европейские нормы		США		Италии, Франции			УкрНИИВЭ и ПЭМЗ		
	EFF2	EFF1	Al	Cu	Al	Cu	Cu+Fe	Al	Cu	Cu+Fe
1,5	78,5	85,0								
3,0	82,6	87,4	83,2	86,4	82,0	84,1	84,5	82,0	84,0	
5,5	85,7	89,2	84,0	86,6					86,5	
11,0	88,4	91,0	89,5	90,7						
18,5	90,0	92,2	90,9	92,5				88,5	90,2	
30,0	91,4	93,2	88,8	90,1						
55,0	93,0	94,2						90,5	93,4*	
90,0	93,9	95,0	91,4	92,8				92,5	94,5*	
132								93,8	95,1*	
200			92,0	93,0				94,3	95,3*	
315								94,7	95,6*	

В таблице значения КПД со штрихом (86,4') – расчетные, значения (*) – для роторов, отлитых по технологии УкрНИИВЭ.

Как следует из таблицы 6, взрывозащищенные АД во всем рассмотренном диапазоне мощности имеют (или будут иметь) КПД на уровне показателей второго класса EFF2 (или несколько выше) и при этом не уступают данным американских и европейских фирм.

Задачи дальнейших исследований взрывозащищенных АД с ЛМКОР состоят в:

- 1) дальнейшей оптимизации параметров паза ротора и всей конструкции АД для различных применений, в частности, с учетом некоторых рекомендаций;
- 2) совершенствовании конструкции и системы охлаждения АД для дальнейшего повышения их технических показателей;
- 3) возможности применения высококачественных электротехнических сталей для улучшения энергетических показателей.

Выводы. Разработана эффективная технология заливки обмоток роторов медью со стабильным качеством, использованная при отливке большого количества роторов различных размеров и конструкции.

Отработаны и внедрены в практику расчетов и изготовления ЛМКОР способы выбора наиболее рациональных форм и оптимизации размеров паза ротора, а также применения специального пускового слоя в пазах для повышения пусковых моментов АД.

Изготовлено свыше 1950 роторов с ЛМКОР для АД мощностью от 3 до 400 кВт. Проведены их лабораторные и промышленные испытания. За счет применения ЛМКОР достигнуто: 1) повышение КПД на 1,5...3,0 %; 2) повышение мощности в неизменных габаритных размерах – на 20...70 %; 3) в ряде конструкций – снижение длины активной части при заданной мощности на 10...22 %; 4) повышение максимального момента на 50...70 %; 5) увеличение пускового момента на 30...40 % при неизменном максимальном; 6) при неизменной мощности снижение температуры обмоток статоров – на 6...10 °С, а роторов – на 17...24 °С; 7) снижение уровня шума ряда АД на 15...20 дБА; 8) увеличение ресурса АД в ряде приводов добычной техники в 1,5...2,5 раза по сравнению с АД, имеющими ЛАКОР.

Изготовленные и испытанные АД с серийной электротехнической сталью в основном соответствуют международному классу энергетической эффективности EFF2.

Перспективой дальнейших исследований может быть применение двигателей нового поколения в промышленности. При годовом выпуске АД 4000 шт. экономический эффект составит не менее 6,5 млн. евро.

Библиографический список использованной литературы

1. Peters D.T. Improved Motor Energy Efficiency and Performance through the Die-Cast Copper Rotor/ D.T. Peters // Proc. of 15th Intl Conference on Electrical Machins, Brugge, Belgium, ICEM 2002, Aug. 2002. — P. 117–122.
2. Parasiliti F. Three-phase induction motor efficiency improvements with die-cast copper rotor cage and premium steel / F Parasiliti., M. Villani, C Paris., O. Walti // SPEEDAM – 2004, June 2004, Capri (Italy). — P. 338–343.
3. Jazdzynski W. Some economic aspects of designing optimal energy-efficient and high-efficiency induction motors./ W. Jazdzynski // ICEM 2002. August 2002, Brugge, Belgium. — P. 472.
4. Jazdzynski W. Maximum-output induction motors with die-cast copper cage / W. Jazdzynski // SPEEDAM 2004, June, Capri (Italy). — P. 344–348.
5. Han P-W. Improving Three-Phase Induction Motors Efficiency by thaq optimized Design with Copper Rotor Cage / P-W. Han // Proc. Of ICEM 2006, September 2006, Greek. — 2006. — No 586.

Поступила в редакцию 15.12.2011 г.

Чувашев В.А., Наливайко С.С., Велков О.А. Порівняльні енергетичні показники асинхронних двигунів з різними типами роторів

Аналізуються результати робіт зі створення асинхронних двигунів потужністю до 200 кВт, показано, що технічні характеристики двигунів нового покоління, що створенні в Україні, не поступаються даним американських і європейських фірм.

Ключові слова: асинхронний двигун, лита мідна обмотка ротора, висока ефективність.

Chuvashev V.A., Nalivayko S.S., Velkov A.A. Comparative power indexes of asynchronous engines with different types of rotors

Analyzed are the results of works on creation of asynchronous engines power to 200 kW. Technical descriptions of engines of the new generation in Ukraine aren't worse than the American and European firms'.

Keywords: induction motors, asynchronous engine, die-cast copper rotor, high efficiency.