

## ЭЛЕКТРОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ УКРАИНЫ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Ширнин И.Г.*

*Донецкий экономико-гуманитарный институт*

*[Shirnin@telenet.dn.ua](mailto:Shirnin@telenet.dn.ua)*

Украина полностью обеспечена электроэнергией и за 2005 год объём производства её электростанциями, входящими в Объединённую энергетическую систему (ОЭС) Украины, достиг 185187,4 млн. кВт·ч. Атомными электростанциями выработано электроэнергии на 1733,8 млн. кВт·ч, или на 2% больше по сравнению с 2004 годом. Производство электроэнергии гидроэлектростанциями увеличилось на 585,6 млн. кВт·ч, или на 5% больше по сравнению с 2004 годом. Производство электроэнергии электростанциями других видов (блок-станциями и коммунальными ТЭЦ) по сравнению с 2004 годом уменьшилось на 627,3 млн. кВт·ч, или на 6,8%.

На протяжении 2005 года экспортировано 8358,1 млн. кВт·ч электроэнергии, что на 3008,9 млн. кВт·ч, или на 56,3% больше показателя за предыдущий год. Такое увеличение связано с экспортом электроэнергии в Российскую Федерацию, который составил 2829,1 млн. кВт·ч.

Вместе с тем за 2005 год величина общих технологических затрат электроэнергии (ТЗЭ) на её транспортировку электрическими сетями Минтопэнерго всех классов напряжения составила 25,04 млрд. кВт·ч, или 14,71% от общего отпуска электроэнергии в сеть [1].

Сравнительно с соответствующим периодом 2004 года уровень общих ТЗЭ уменьшился на 1,8%, часть технических ТЗЭ уменьшилась на 0,3%, сверхнормативные ТЗЭ уменьшились на 1,5%. Техническая составляющая ТЗЭ за 2005 год равна 22,28 млрд. кВт·ч, или 13,09% от величины отпуска электроэнергии в сеть. Сверхнормативная (коммерческая) составляющая величины ТЗЭ за 2005 год равнялась 2,76 млрд. кВт·ч, или 1,62% от общего отпуска электроэнергии в сеть.

ТЗЭ на её передачу по электрическим сетям Украины очень велики, и в 2004 году составляли 27,53 млрд. кВт·ч при нормативной величине в целом по Минтопэнерго 22,33 млрд. кВт·ч. Потери электроэнергии обусловлены затратами на нагревание элементов электрической сети и намагничивание трансформаторов, на обслуживание технологического процесса (плавка гололёда, собственное потребление энергии трансформаторными подстанциями и др.), а также коммерческими лишениями электроэнергии из-за её недоучёта счётчиками и т.д. Потери электроэнергии в электросетях Украины и некоторых стран мира, например, в 2003 году отражают техническое и научное развитие этой отрасли: Нидерланды – 4,5%, Франция – 8%, Англия – 8,3%, Ирландия – 9%, ЮАР – 7%, Зимбабве – 11,5%, Кения – 14,5%, Эфиопия – 19,5%, Украина – 19,57%, Танзания – 27%, Нигерия – 32%, Уганда – 37% [2].

Итак, порядка 15 – 20% выработанной электроэнергии теряется в украинских сетях на её передачу потребителю вместо 5 – 8% в передовых европейских странах. А в сетях некоторых облэнерго Украины ТЗЭ доходят до 25%.

В процессе потребления электрической энергии происходит её преобразование в другие виды энергии (тепловую, механическую и др.). Около 70% электроэнергии используется для приведения в движение станков, механизмов, транспортных средств и т.д., т.е. для преобразования её в механическую энергию. Это преобразование осуществляется электрическими машинами, в частности, асинхронными двигателями.

Две трети количества электроэнергии, выработанной на электростанциях, преобразуется различными электроприводами в механическую энергию. Асинхронные двигатели во взрывозащищённом исполнении изготавливаются на мощности от 0,25 до 400 кВт на напряжение 380, 660, 1140 В и имеют многочисленные конструктивные исполнения. Невозможно для каждого заказчика выпускать отдельную машину, поэтому асинхронные двигатели выпускаются сериями. В Украине самой массовой серией таких машин является серия 3В и ВАОЗ, которая включает машины мощностью от 0,25 до 400 кВт и выполнена на 17 стандартных высотах оси вращения. На каждую из высот вращения выпускаются двигатели двух мощностей, отличающиеся по длине. На базе единой серии 3В и ВАОЗ выпускаются различные модификации двигателей, которые обеспечивают технические требования большинства потребителей. Серии электрических машин взрывозащищённого исполнения обновлялись ранее, как правило, каждые десять лет.

В электрических двигателях преобразование энергии из электрической в механическую сопровождается выделением тепла, которое принято называть потерями (электрическими, магнитными и механическими).

Электрические потери, или потери в меди, включают потери в обмотках

$$P_s = m \cdot I^2 \cdot r_0,$$

где  $m$  – число фаз;  $I$  – ток в фазе;  $r_0$  – активное сопротивление фазы обмотки при расчётной температуре.

Магнитные потери, или потери в стали, включают потери в зубцах, ярмах магнитопровода и полюсах машины, т.е. в основных участках магнитной системы, где замыкается рабочий поток машины. Магнитные потери состоят из потерь на вихревые токи и потерь на гистерезис и зависят от марки стали, толщины листов маг-

нитопровода, индукции и частоты перемагничивания. При определении магнитных потерь пользуются приближённой формулой:

$$P_m \approx K_{обр} \cdot P_{уд} \cdot (f/50)^\beta \cdot B_i \cdot G_i,$$

где  $K_{обр}$  – коэффициент обработки, зависящий от обработки стали (для асинхронных двигателей 1,4 – 1,8);  $P_{уд}$  – удельные потери в стали при частоте перемагничивания 50 Гц и магнитной индукции 1Тл, Вт/кг;  $f$  – частота перемагничивания, Гц;  $\beta$  – показатель степени, зависящей от марки стали;  $B_i$  – индукция в соответствующей части магнитопровода, Тл;  $G_i$  – масса части магнитопровода, где индукция магнитного потока  $B_i$ .

В табл. 1 приведены значения удельных потерь при индукции 1Тл и частоте перемагничивания 50 Гц и коэффициента  $\beta$  для различных марок стали при толщине листа 0,5 мм.

Механические потери включают потери на трение вращающихся частей машины о воздух, потери на трение в подшипниках, потери на вентиляцию.

Добавочные потери в асинхронном двигателе делят на добавочные потери при холостом ходе и при нагрузке. К добавочным потерям при холостом ходе относятся поверхностные и пульсационные потери. Поверхностные потери возникают в поверхностном слое зубцов. Частота пульсаций индукции определяется числом зубцов и частотой вращения  $f_z = n \cdot z / 60$ ,

где  $z$  – число зубцов в статоре, если определяются поверхностные потери в роторе или число пазов на роторе, если определяются поверхностные потери в статоре.

Таблица 1

Марка стали	$P_{уд}$ , Вт / кг	$\beta$
2013; 20011; 2211	2,5 – 2,6	1,5
2312	1,75	1,4
2411	1,6	1,3

Пульсационные потери – это потери в стали за счёт пульсаций потока в зубцах статора или ротора. Они зависят от индукции в зубцах и частоты пульсаций. Частота пульсаций в зубцах статора определяется числом зубцов ротора, а частота пульсаций в зубцах ротора определяется числом зубцов статора.

Добавочные потери при нагрузке возникают в обмотке и магнитопроводе из-за потоков рассеяния и искажения поля в воздушном зазоре при нагрузке.

Для асинхронных двигателей мощностью до 400 кВт общепромышленных серий добавочные потери принимаются равными 0,5% номинальной мощности [3].

Коэффициент полезного действия асинхронных двигателей

$$\eta = 100 [1 - \Sigma P / P_1],$$

где  $P_1$  – мощность, подводимая к двигателю;  $\Sigma P$  – сумма потерь в машине.

На рис. 1 дана зависимость К.П.Д. от полезной мощности  $P_2$ , выраженной в относительных единицах.

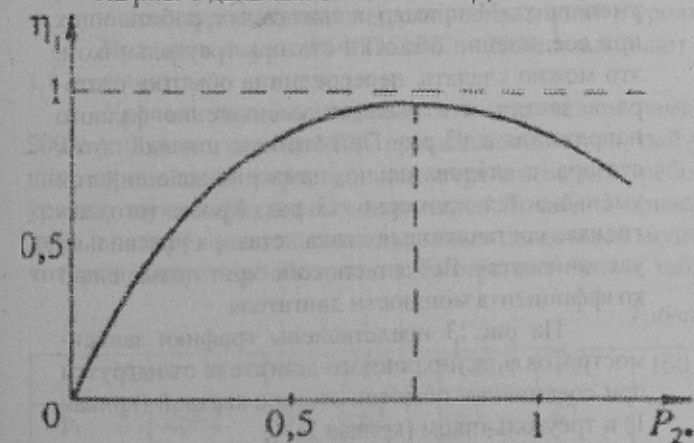


Рисунок 1 - Зависимость К.П.Д. от нагрузки

Зависимость  $\eta = f(P_2)$  объясняется тем, что с ростом нагрузки полезная мощность увеличивается пропорционально току, а потери электрические растут пропорционально квадрату тока. Коэффициент полезного действия имеет максимум, когда постоянные потери равны потерям переменным. К постоянным потерям относятся потери, не зависящие от нагрузки. Эти потери магнитные и механические. Переменные потери – это электрические потери, которые пропорциональны квадрату тока нагрузки.

Асинхронные машины получили наиболее широкое применение в современных электрических установках переменного тока. Преобладающее применение имеют асинхронные двигатели, составляющие основу современного электропривода. Области применения асинхронных двигателей в угольной, химической, нефтяной, газовой и др. областях промышленности со взрывоопасными

производствами весьма широкие, и их мощность в основном составляет от 0,25 до 2000 кВт. Наибольшее же распространение получили взрывонепроницаемые асинхронные двигатели мощностью от 0,25 до 400 кВт.

Техническому развитию асинхронных двигателей сопутствует повышение уровня использования их активных частей за счёт совершенствования свойств магнитных, проводниковых и изоляционных материалов, а также применение ряда улучшающих факторов [4]. Целесообразное сочетание уровней электромагнитных нагрузок с новыми свойствами электротехнических материалов обеспечивает сохранение примерно на одном и

том же уровне суммы потерь в машинах и намагничивающих токов при неизменной полезной мощности. Критерием оптимума в данном случае является наибольший экономический эффект, т.е. наименьшая сумма затрат на изготовление двигателя, включая стоимость материалов, и его эксплуатацию в течение расчётного срока службы. Расчёты показывают, что взрывозащищённые асинхронные двигатели всех мощностей от 1,1 до 90 кВт с частотой вращения 3000 и 1500 мин<sup>-1</sup> производства предприятий Украины, не соответствует по энергетическим показателям не только требованиям класса EFF1, но в ряде случаев и требованиям класса EFF2 [5].

Рабочие характеристики асинхронного двигателя изменяются в процессе его работы и зависят от частоты вращения, нагрузки (полезной мощности) при напряжении  $U_1 = \text{Const}$ , т.е.  $\cos \varphi_1 = f(P_2)$ . В связи с тем, что ток статора  $I_1$  асинхронного двигателя имеет реактивную (индуктивную) составляющую, необходимую для создания магнитного потока в статоре, коэффициент мощности асинхронных двигателей всегда меньше единицы. Наибольшее значение коэффициента мощности соответствует режиму холостого хода. Объясняется это тем,

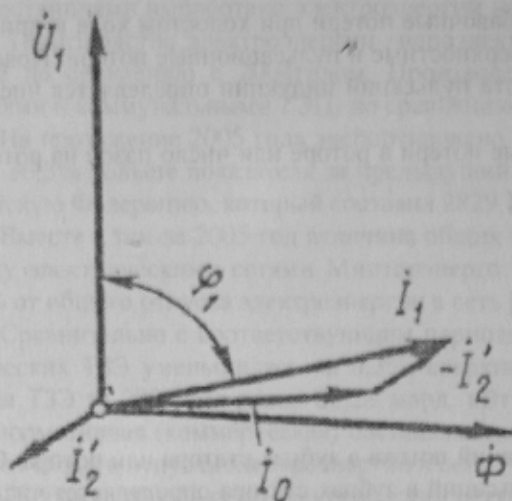


Рисунок 2 – Векторная диаграмма асинхронного двигателя при небольшой нагрузке

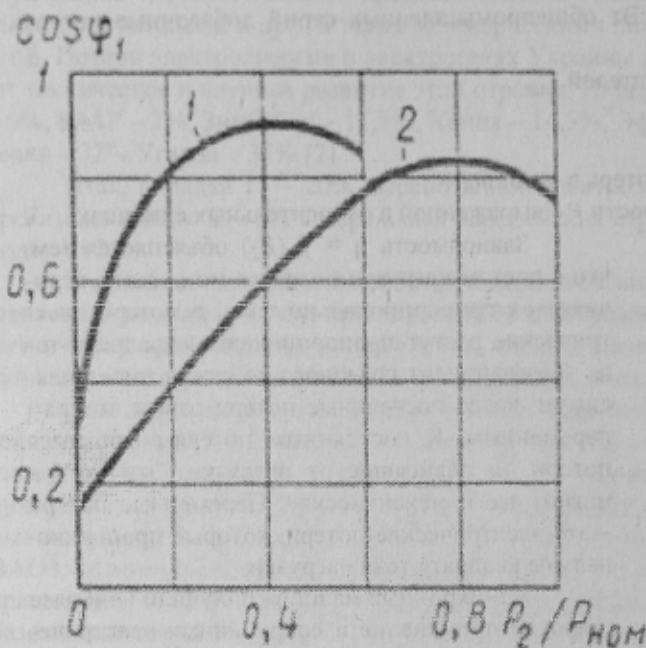


Рисунок 3 – Графики зависимости  $\cos \varphi_1$  асинхронного двигателя от нагрузки при соединении обмоток статора звездой (кривая 1) и треугольником (кривая 2).

Коэффициент полезного действия относится к активной мощности и показывает, какая часть энергии, израсходованной в виде угля, нефти, газа или другого топлива, может быть использована.

Коэффициент мощности показывает, какая часть подведенной энергии принимает участие в преобразовательном процессе. При этом так называемая реактивная мощность, которая служит для намагничивания электродвигателя, должна рассматриваться как источник добавочных потерь. Реактивная мощность оказывает на-

что ток холостого хода  $I_0$  при любой нагрузке асинхронного двигателя остаётся практически неизменным. Поэтому при малых нагрузках двигателя ток статора невелик и в значительной части является реактивным ( $I_1 \approx I_0$ ). В результате сдвиг по фазе тока статора  $I_1$  относительно напряжения  $U_1$  получается значительным ( $\varphi_1 \approx \varphi_0$ ), лишь немногим меньше  $90^\circ$  (см. рис. 2). Коэффициент мощности асинхронных двигателей в режиме холостого хода обычно не превышает 0,2. При увеличении нагрузки на валу двигателя растёт активная составляющая тока  $I_1$  и коэффициент мощности возрастает, достигая наибольшего значения при нагрузке, близкой к номинальной. Дальнейшее увеличение нагрузки сопровождается уменьшением  $\cos \varphi$ , что объясняется возрастанием индуктивного сопротивления ротора ( $x_2 \cdot s$ ) за счёт увеличения скольжения, а следовательно, и частоты тока в роторе.

В целях повышения коэффициента мощностей асинхронных двигателей важно, чтобы двигатель работал всегда или, по крайней мере, значительную часть времени с нагрузкой, близкой к номинальной. Если же двигатель работает нелогруженным, то для повышения  $\cos \varphi_1$  следует подводимое к двигателю напряжение  $U_1$  уменьшить. Например, в двигателях, работающих при соединении обмотки статора треугольником, это можно сделать, пересоединив обмотки статора в звезду, что вызовет уменьшение фазного напряжения в  $\sqrt{3}$  раз. При этом магнитный поток статора, а следовательно, намагничивающий ток уменьшаются примерно  $\sqrt{3}$  раз. Кроме того, активная составляющая тока статора несколько увеличивается. Всё это способствует повышению коэффициента мощности двигателя.

На рис. 3 представлены графики зависимости  $\cos \varphi_1$  асинхронного двигателя от нагрузки при соединении обмоток статора звездой (кривая 1) и треугольником (кривая 2).

Понятия о коэффициенте полезного действия и коэффициенте мощности имеют известное сходство между собой. Они показывают, какая часть подведенной энергии может полезно использоваться.

грузку на сеть и повышает в ней потери. Поэтому желательно, чтобы коэффициент полезного действия и коэффициент мощности имели как можно более высокие значения.

Низковольтные асинхронные двигатели взрывозащищённого исполнения (ВАД) являются основой электропривода в промышленности со взрывоопасными производствами. Они также являются одним из основных потребителей электрической энергии. Эти обстоятельства вынуждают изготовителей этих машин обеспечивать непрерывное совершенствование их. В частности, направлением совершенствования взрывозащищённых асинхронных двигателей являются:

- повышение энергоэффективности;
- снижение уровня шума;
- повышение надёжности и долговечности;
- улучшение внешнего вида;
- повышение удобства монтажа и эксплуатации.

Энергоэффективность асинхронных двигателей характеризуется уровнем К.П.Д. и коэффициента мощности. В Евросоюзе и в Российской Федерации в 2000 году приняты нормы на К.П.Д. асинхронных двигателей.

Еврономы SEMEP для двух и четырёхполюсных двигателей мощностью от 1,1 до 90 кВт предусматривают три уровня К.П.Д.:

- нормальный – EFF3;
- повышенный – EFF2;
- высокий – EFF1.

Нормы EFF2 и EFF1 приведены в табл. 2. К уровню EFF3 относят значение К.П.Д. ниже уровня EFF2.

Таблица 2

P, кВт		1,1	1,5	2,2	3	4	5,5	7,5	11	15
К.П.Д., %	EFF2	76,2	78,5	81	82,6	84,2	85,7	87	88,4	89,4
	EFF1	82,8	84,1	85,6	86,7	87,6	88,6	89,5	90,5	91,3
P, кВт		18,5	22	30	37	45	65	75	90	
К.П.Д., %	EFF2	90	90,5	91,4	92	92,5	93	93,6	93,9	
	EFF1	91,8	92,2	92,9	93,3	93,7	94	94,6	95	

Нормы на К.П.Д. в Российской Федерации в соответствии с ГОСТ 51677-2000 предусматривают два уровня К.П.Д.:

- нормальный, практически совпадающий с уровнем EFF2 Евроном,
- повышенный, практически совпадающий с уровнем EFF1 Евроном.

При этом нормы ГОСТ 51677 – 2000 охватывают двигатели всех полюсностей в диапазоне мощности от 1,1 до 400 кВт.

Уровень шума асинхронных двигателей регламентируется нормами МЭК (IEC 60034-9, редакция 10-2003г.). Однако, нормы МЭК превышают достигнутый уровень в практике. Анализ технических данных ведущих европейских фирм, а также перспективных требований рынка позволил сформулировать требования к уровню шума асинхронных двигателей. В табл. 3 приведены значения уровня звукового давления (Lp, дБ (А)) двух и четырёхполюсных асинхронных двигателей мощностью от 1,1 до 315 кВт в зависимости от габарита, на которые следует ориентироваться в перспективе (см. табл. 3).

Таблица 3

H, мм		90	100	112	132	160	180	200	225	250	280	315	350
Lp,	2p=2	61	62	63	67	70	71	72	73	75	77	80	82
Б(А)	2p=4	50	53	54	58	63	64	65	66	67	68	70	75

Предстоящее вступление Украины во Всемирную торговую организацию (ВТО) и конкуренция с мировыми производителями диктует необходимость создания новой серии асинхронных двигателей высокого технического уровня, соответствующей требованиям МЭК (IEC 60034) и удовлетворяющей следующим требованиям:

- привязка мощностей и установочных размеров должна соответствовать европейским нормам CENELEK, принятым в большинстве стран (см. табл. 4);

- К.П.Д. асинхронных двигателей должен соответствовать уровню EFF2 европейских норм СЕМЕР и ГОСТ 51677-2000, а также должна быть предусмотрена возможность изготовления двигателей уровня EFF1 с повышенным К.П.Д.;

- обеспечить сервис-фактор двигателей не менее 1,15 с температурным запасом обмотки статора не менее 20° С.

Таблица 4

Габарит H, мм	Установочный размер	Мощность $P_2$ , кВт			
		Число полюсов			
		2	4	6	8
90	S	1,5	1,1	0,75	0,37
	L	2,2	1,5	1,1	0,55
100	L	3,0	2,2; 3,0	1,5	0,75; 1,1
112	M	4,0	4,0	2,2	1,5
132	S	5,5	-	3,0	-
	M	7,5	5,5; 7,5	4,0; 5,5	2,2; 3,0
160	M	11	11	7,5	4,0
	L	15; 18,5	15	11	5,5; 7,5
180	M	22	18,5	-	-
	L	-	22	15	11
200	L	30; 37	30	18,5; 22	15
225	S	-	37	-	18,5
	M	45	45	30	22
250	M	55	55	37	30
280	S	75	75	45	37
	M	90	90	55	45
315	S	110	110	75	55
	M	132	132	90	75
	L	160; 200	160; 200	110; 132	80; 110
350	S	250	-	160	132
	M	315	250; 315	200	160
	L	-	-	250	200

Постоянное повышение цен на комплектующие материалы и сырьё заставляет предприятия, производящие взрывозащищённые асинхронные двигатели, искать новые способы сокращения расходов. Из опыта производства этих двигателей прошлых лет известно, что порядка 30% трудозатрат приходится на механосборочные операции. Наиболее специализированными операциями в производстве двигателей являются операции получения сердечников статора, ротора и обмоточно-изолировочные работы. Из-за низкого коэффициента использования электротехнической стали при производстве сердечников статора и ротора, обусловленного спецификой их конструкции, основные технологические новинки касаются снижения их материальных затрат.

Хороший внешний вид двигателей достигается на сегодняшний день вместо жидких покрытий покрытия порошковым статическим напылением, являющимся передовой технологией полимерного порошкового окрашивания металла, основными преимуществами которого являются коррозионная и химическая стойкость, устойчивость к истиранию и образованию царапин, ударная прочность и эластичность, отличный декоративный внешний вид.

Асинхронные двигатели, в том числе взрывозащищённые, потребляют 55% вырабатываемой электроэнергии и могут стать объектом её экономии. Как отмечено выше, в Европе приняты требования по энергоэффективности асинхронных двигателей с разделением их на три уровня (EFF1, EFF2, EFF3), при этом производство машин самого низкого уровня EFF3 должно иметь тенденцию к неуклонному уменьшению.

Большинство потребителей требует поставки двигателей с уровнем EFF1- энергосберегающих, обеспечивающих экономию электрической энергии и охрану окружающей среды. Это требует разработки новых взрывозащищённых асинхронных двигателей с полным изменением магнитной системы и увеличением расхода активных материалов. Основная часть типоразмеров ВАД с классом изоляции F должна иметь превышения температуры по классу изоляции В, что обеспечивает высокую надёжность и увеличивает сервис-фактор до 1,15, нужного большинству потребителей. Двигатели должны иметь низкую тепловую напряжённость и допускать длительную работу при колебаниях напряжения сети  $\pm 10\%$ , а также перегрузку (длительную до 20% и кратковременную до 50%) без снижения показателей надёжности. В двигателях новой серии должен К.П.Д. быть увеличен в среднем на 0,5 %, коэффициент мощности – в среднем на 0,05, кратность пускового и максимального моментов повышена на 10 %, уровень шума снижен на 3 дБ(А).

В России с 2000-го года введен новый стандарт по энергоэффективности, предписывающий повышение К.П.Д. и Cos $\phi$  до международных. Это заставляет российские заводы модернизировать асинхронные двигатели за счёт увеличения массы активных материалов. Основными материалами взрывозащищённых асинхронных двигателей являются электротехническая сталь, медный обмоточный провод, алюминий и чугун, удельный вес которых в цене двигателя составляет от 60 до 70%. Если за последние четыре года цены на медный обмоточный провод и алюминий стабилизировались и возросли лишь на 45 – 47%, то цены на электротехническую сталь и чугун возросли в 2,5 раза.

Стандарт [6] устанавливает уровни показателей энергоэффективности (энергетических показателей): коэффициента полезного действия (К.П.Д.) и коэффициента мощности асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором общего назначения мощностью от 1 до 400 кВт включительно для работы от сети переменного тока напряжением до 690 В, изготавливаемые для нужд народного хозяйства и экспорта. Требования этого стандарта [6] являются обязательными.

Учитывая то, что взрывозащищенные асинхронные двигатели мощностью от 1 до 400 кВт используются в нефтяной, газовой, угольной, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности со взрывоопасными производствами в качестве привода тех же машин и механизмов, что и асинхронные двигатели общего назначения [6], целесообразно проанализировать уровень показателей энергоэффективности серийно выпускаемых и разработанных УкрНИИВЭ асинхронных двигателей.

Двигатели с нормальным К.П.Д. – это двигатели общепромышленного назначения, К.П.Д. которых равен уровню двигателей серии АИ, а двигатели с повышенным К.П.Д. (энергосберегающие двигатели) – это двигатели общепромышленного назначения, у которых суммарные потери мощности не менее, чем на 20 % меньше суммарных потерь мощности двигателей с нормальным К.П.Д. той же мощности и частоты вращения.

К.П.Д. энергосберегающего двигателя  $\eta_z$ , % при различных уровнях снижения суммарных потерь определяют по формуле

$$\eta_z = \frac{\eta}{100 - e(100 - \eta)} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $\eta$  – коэффициент полезного действия двигателя с нормальным К.П.Д., %;

$e \geq 0,2$  – относительное снижение суммарных потерь мощности в двигателе, о.е.

Минимальные значения К.П.Д. энергосберегающего двигателя (для случая снижения суммарных потерь мощности в двигателе на 20%, т.е. при  $e=0,2$ ),  $\eta_{zm}$ , % определяют по формуле

$$\eta_{zm} = \frac{\eta}{80 + 0,2\eta} \cdot 100. \quad (2)$$

Показатели энергоэффективности следующие:

- 1) К.П.Д., представляющий отношение полезной мощности на валу двигателя, выраженной в кВт, к активной мощности, потребляемой двигателем из сети, выраженной в кВт;
- 2) коэффициент мощности, представляющий отношение потребляемой активной мощности, выраженной в кВт, к полной мощности, потребляемой из сети, выраженной в киловольтамперах.

Выпускаемые двигатели по уровню энергоэффективности подразделяются на:

- а) двигатели с нормальным К.П.Д.;
- б) двигатели с повышенным К.П.Д. (энергосберегающие двигатели).

Двигатели с нормальным К.П.Д. должны иметь номинальные значения К.П.Д. и коэффициента мощности не ниже указанных в табл.5,6. Двигатели с повышенным К.П.Д. (энергосберегающие двигатели) мощностью от 15 до 400 кВт должны иметь номинальные значения К.П.Д. и коэффициента мощности не ниже указанных в табл. 6,7. Значения К.П.Д., указанные в таблице 7 определены по формуле (2).

При маркировании в условном обозначении двигателей с повышенным К.П.Д. применяют строчную букву *e*, которую располагают после цифры, обозначающей число полюсов двигателя. Например, условное обозначение асинхронного двигателя взрывозащищённой серии 3В высотой оси вращения 180 мм длиной S, двухполюсного, повышенного К.П.Д., климатического исполнения Т2 будет: 3В 180 S2e T2.

Таблица 5 – Значения К.П.Д. асинхронных двигателей с нормальным К.П.Д.

Номинальная мощность, кВт	К.П.Д. двигателей, % при числе полюсов					
	2p=2	2p=4	2p=6	2p=8	2p=10	2p=12
1,10	77,0	75,0	72,0	72,0	-	-
1,50	79,0	77,0	77,0	73,0	-	-
2,20	82,0	78,0	80,0	75,0	-	-
3,00	82,0	79,0	81,0	78,0	-	-
4,00	83,0	83,0	82,0	82,0	-	-
5,50	86,0	84,0	84,0	83,0	-	-
7,50	87,0	87,0	84,5	85,0	-	-
11,0	88,0	88,0	87,0	87,0	-	-
15,0	89,0	89,0	88,5	88,0	-	-
18,5	90,0	90,0	89,0	88,5	-	-
22,0	90,5	90,5	90,0	89,5	-	-
30,0	91,0	91,5	90,0	90,0	88,5	-
37,0	92,0	92,0	91,0	91,0	89,0	-
45,0	92,5	92,5	92,0	92,0	91,0	90,5
55,0	93,0	93,0	92,5	92,0	92,0	91,0
75,0	93,0	93,5	92,5	92,5	92,0	91,5
90,0	93,0	94,0	93,0	93,0	92,5	92,0
110,0	93,5	94,0	93,0	93,0	93,0	92,0
132,0	94,0	94,0	93,5	93,5	93,0	-
160,0	94,0	94,0	94,0	93,5	-	-
200,0	94,5	94,5	94,5	94,0	-	-
250,0	94,5	94,5	94,5	-	-	-
315,0	95,0	95,0	-	-	-	-
400,0	95,5	95,5	-	-	-	-

Таблица 6 – Значения коэффициента мощности асинхронных двигателей с нормальным и повышенным К.П.Д.

Номинальная мощность, кВт	Коэффициент мощности двигателей, о.е., при числе полюсов					
	2p=2	2p=4	2p=6	2p=8	2p=10	2p=12
1,10	0,80	0,76	0,70	0,68	-	-
1,50	0,82	0,78	0,70	0,70	-	-
2,20	0,84	0,80	0,72	0,70	-	-
3,00	0,85	0,80	0,72	0,70	-	-
4,00	0,84	0,81	0,75	0,70	-	-
5,50	0,85	0,82	0,76	0,72	-	-
7,50	0,85	0,83	0,77	0,72	-	-
11,0	0,86	0,83	0,80	0,73	-	-
15,0	0,86	0,84	0,82	0,75	-	-
18,5	0,87	0,84	0,82	0,75	-	-
22,0	0,87	0,84	0,82	0,75	-	-
30,0	0,88	0,85	0,82	0,75	0,70	-
37,0	0,88	0,85	0,82	0,75	0,70	-
45,0	0,88	0,85	0,82	0,75	0,72	0,70
55,0	0,88	0,85	0,82	0,75	0,72	0,70
75,0	0,89	0,85	0,82	0,80	0,75	0,70
90,0	0,89	0,86	0,83	0,80	0,75	0,70
110,0	0,89	0,86	0,83	0,82	0,75	0,70
132,0	0,89	0,87	0,85	0,82	0,78	-
160,0	0,89	0,87	0,85	0,82	-	-
200,0	0,90	0,87	0,85	0,82	-	-
250,0	0,90	0,88	0,86	-	-	-
315,0	0,90	0,88	-	-	-	-
355,0	0,90	0,89	-	-	-	-
400,0	0,90	0,89	-	-	-	-

Таблица 7 – Значения К.П.Д. асинхронных двигателей с повышенным К.П.Д.

Номинальная мощность, кВт	К.П.Д. двигателей, % при числе полюсов					
	2p=2	2p=4	2p=6	2p=8	2p=10	2p=12
15,0	91,3	91,8	90,6	90,0	-	-
18,5	91,8	92,2	91,0	90,6	-	-
22,0	92,3	92,6	91,8	91,4	-	-
30,0	92,9	93,7	91,8	91,8	90,6	-
37,0	93,5	93,7	92,7	92,7	91,0	-
45,0	93,9	93,9	93,5	93,5	92,7	92,3
55,0	94,3	94,3	93,9	93,5	93,5	92,7
75,0	94,6	94,7	93,9	93,9	93,5	93,1
90,0	95,0	95,1	94,3	94,3	93,9	93,5
110,0	94,7	95,1	94,3	94,3	94,3	93,5
132,0	95,1	95,1	94,7	94,7	94,3	-
160,0	95,1	95,1	95,1	94,7	-	-
200,0	95,5	95,5	95,5	95,1	-	-
250,0	95,5	95,5	95,5	-	-	-
315,0	96,0	96,0	-	-	-	-
400,0	96,4	96,4	-	-	-	-

### Выводы.

1. Потери электроэнергии в передающих электрических сетях Украины от электростанций до потребителя очень велики и составляют от 15 до 20%, находятся на уровне отстающих стран, тогда как в технически передовых государствах эти потери колеблются от 5 до 8%. В сетях некоторых украинских облэнерго потери электроэнергии достигают 25%.

2. Две трети количества электроэнергии, выработанной электростанциями и доставленной потребителям (за вычетом технологических затрат электроэнергии в сетях), преобразуется различными электроприводами (в том числе электроприводами во взрывозащищенном исполнении) в механическую энергию. Взрывозащищенные и общепромышленные асинхронные двигатели (основа электрического привода) являются основными потребителями электроэнергии.

3. Российская Федерация и 25 стран Европейского Союза установили в 2000 году повышенные нормы энергоэффективности асинхронных двигателей: мощностью от 1,1 до 90 кВт двух- и четырёхполюсных для стран ЕС и мощностью от 1,1 до 400 кВт всех полюсностей – для Российской Федерации.

4. Асинхронные двигатели мощностью от 1,1 до 400 кВт производства украинских предприятий уступают по показателям энергоэффективности асинхронным двигателям Российской Федерации (ГОСТ 51677-2000) и ЕС. Разработчикам асинхронных двигателей Украины необходимо создать отечественные серии асинхронных двигателей (в т.ч. взрывозащищенных), чтобы быть конкурентноспособными в этой области. При создании новых украинских серий асинхронных двигателей необходимо учесть также требования по уровню шума (МЭК IEC 60034-9, редакция 10-2003г.) и значений звукового давления российских стандартов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Итоги работы ТЭК за 2005 год // Гидроэнергетика Украины. – 2006. - № 1. - С. 13-14.
2. ТЭК Украины – цифры, факты за 2004 год // Гидроэнергетика Украины. - 2005. - № 1. – С. 1-10.
3. Копылов И.П. Электрические машины: учеб. для вузов / И.П. Копылов. - 4-е изд. испр. – М.: Высш. шк. 2004. – 607 с.
4. Ширнин И.Г., Ткачук А.Н. Мощности асинхронных двигателей скребковых конвейеров с использованием улучшающих факторов // Праці ЛВ МАІ. - №1 (10). – 2005. С. 178-181.
5. Ширнин И.Г., Ткачук А.Н. Коэффициент полезного действия асинхронных двигателей горных машин // Уголь Украины. - 2006. - № 8.
6. ГОСТ Р51677-2000. Машины электрические асинхронные мощностью от 1 до 400 кВт включительно. Двигатели. Показатели энергоэффективности. – Принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 7 декабря 2000 г. № 333-ст..