

## Розділ 4

### Управління потенціалом інноваційного розвитку на засадах маркетингу

УДК 658.318

*П.Г. Перерва, Т.А. Кобелева*

#### Инновационные технологии повышения конъюнктуры рынка асинхронных электродвигателей

*Исследованы основные направления совершенствования асинхронных двигателей. Определено, что главными направлениями совершенствования асинхронных электродвигателей являются следующие. Во-первых, разработка энергосберегающих конструкций. Во-вторых, это возможность работать в системах регулируемого электропривода. В третьих, это возможность работы при перегрузках. В четвертых, это расширенный диапазон напряжений и электромагнитная совместимость. Рассмотрены вопросы совершенствования экономической оценки электротехнических изделий на примере асинхронных двигателей. Предложена методика определения экономического эффекта у изготовителя и потребителя продукции. Даны рекомендации по установлению коэффициента дисконтирования затрат.*

Низковольтные асинхронные электродвигатели (АД) общего назначения мощностью 0,25...400 кВт, именуемые во всем мире стандартные АД, составляют основу силового электропривода, применяемого во всех областях человеческой деятельности. Они потребляют до 40 % производимой электроэнергии, поэтому их совершенствованию в промышленно развитых странах придают большое значение [7]. Распределение АД по мощностям и потреблению электроэнергии приведено в табл. 1.

Таблица 1 – Распределение АД по мощностям и потреблению электроэнергии

Мощность, кВт	В % от общего количества	В % от общего потребления электроэнергии
до 1	12,7	6,4
от 1 до 5	57,3	39,0
от 5 до 20	19,3	28,2
от 20 до 100	9,2	20,8
свыше 100	1,5	5,6
Всего	100%	100%

*Перерва Петр Григорьевич, декан экономического факультета, профессор, Национально-технический университет «Харьковский политехнический институт»; Кобелева Татьяна Александровна, аспирант кафедры экономики и маркетинга.*

© П.Г. Перерва, Т.А. Кобелева, 2008

#### Розділ 4 Управління потенціалом інноваційного розвитку на засадах маркетингу

В целом электродвигатели мощностью от 1,0 до 100 кВт составляют примерно 90% и потребляют 90% электроэнергии, преобразуемой в механическую. Наиболее массовый и дешевый асинхронный электропривод по количеству потребляемой электроэнергии находится в диапазоне мощностей 1-20 кВт, а среди исполнительных механизмов самыми распространенными являются вентиляторы, транспортеры и насосы, составляющие более половины общего количества механизмов (табл. 2).

Таблица 2 – Распределение АД по механизмам

Механизмы	В % от общего количества	Механизмы	В % от общего количества
Вентиляторы	31,9	Смесители	4,3
Транспортеры	18,7	Механизмы перемещения	5,5
Насосы	16,1	Затворы, задвижки	3,2
Станки	9,1	Компрессоры	3,8

В настоящее время внутренний рынок Украины, призванный отражать интересы потребителей, не формулирует сколько-нибудь определенных требований к стандартным асинхронным двигателям, кроме ценовых. В связи с этим для выявления тенденций их совершенствования будем исходить из требований внешнего рынка, на котором уже работают украинские предприятия, и из достижений основных зарубежных производителей стандартных АД.

Как нам представляется, важнейшим направлением совершенствования АД является **энергосбережение**. Следует отметить, что указанная проблема является характерной не только применительно к асинхронным электродвигателям или другим видам электротехнической продукции. Данная проблема является межотраслевой и охватывает все сферы и отрасли народного хозяйства нашей страны [5, 7].

Существующие на Украине технологии производства товаров по-прежнему являются максимально энергозатратными. Доля энергозатрат в себестоимости продукции и сфере услуг (по данным комиссии энергорегулирования Евросоюза) составляет до 35-50%, что значительно выше, чем в странах с развитой рыночной экономикой и на 10-15% выше, чем в Украине. Это приводит к неоправданному удорожанию товаров и услуг, занижению конкурентоспособности, социальным напряжениям в обществе, захвату украинского рынка более дешевыми конкурентами и т.д. Наиболее критичной к энергозатратности используемых технологий является продукция электротехнической промышленности. Она требует в качестве первоочередной – решение задачи снижения энергоемкости и производства и сферы услуг. Если кратко проанализировать проблему с точки зрения производства и эксплуатации электротехнических изделий, то основными причинами такого положения являются: применяемые в производстве и эксплуатации энергорасточительные технологии, оборудование и приборы (как правило – наследие прежних времен); очень слабая эффективность государственной программы энергосбережения; отсутствие реальной заинтересованности должностных лиц возглавляющих соответствующие подразделения и предприятия (в т.ч. и лично материальной); отсутствие в Украине соответствующих реальных открытых региональных программ энергосбережения (в отличие от России); не применение реально работающих финансовых схем по энергоперевооружению предприятий и отраслей; использование западных кредитных

линий по схеме – "мы даем деньги в кредит, на которые вы должны развалить свою базу, купить наше оборудование, а затем вернуть деньги с процентами"; ориентация на западное оборудование и элементную базу; развал местной технологической базы; относительная закрытость соответствующей статистической информации.

Официальных данных Управления статистики, местных областных и городских администраций, Министерства экономики страны по вопросам энергозатратности установленного в различных отраслях Украины электротехнического оборудования и анализа доли энергопотребляющих технологий в общих затратах нам получить не удалось (использовались официально доступные документы, университетские запросы, консультации с ответственными лицами и т.д.). Анализ хода практической реализации существующей в Украине государственной программы по внедрению энергосберегающих технологий показал ее низкую эффективность. Основной смысл данной программы сводится к освоению выделяемых государством средств и возможных кредитов, построение административной инфраструктуры и создание видимости деятельности в этом направлении. Эта программа напрямую (материально, административно и т.д.) не стимулирует внедрение прогрессивных технологий на конкретных предприятиях. Полученные у них официальным путем данные носят противоречивый характер и не могут быть базой технико-экономического анализа. По оценкам экспертов Евросоюза, внедрение энергосберегающих технологий и оборудования способствует снижению потребностей в энергоресурсах не менее чем на 30%-40%. Мировая и отечественная инженерная практика показала, что наибольший экономический эффект при реализации программ энергосбережения дает переоснащение энергетических сетей и коммуникаций устройствами частотно-регулируемого электропривода. Около 2/3 всего объема потребляемой электроэнергии используется для механической работы, выполняемой электроприводом. Проведенный нами анализ показал, что наиболее широко в отраслях промышленности и коммунального хозяйства используются электроприводы на базе АД (55%-60% всей потребляемой энергии).

Ведущие фирмы-производители выпускают энергосберегающие стандартные АД мощностью 0,5-30 кВт и более. В этих двигателях потери электроэнергии снижены не менее, чем на 10% по сравнению с ранее производимыми двигателями с "нормальным"  $KПД_{норм}$ . При этом  $KПД$  энергосберегающего двигателя можно определить следующим образом:

$$KПД_{экон} = KПД_{норм} / [1 - e(1 - KПД_{норм})], \quad (1)$$

где  $e$  - относительное снижение общих потерь  $P_{\Sigma}$  в асинхронном электродвигателе ( $e = \Delta P / P_{\Sigma}$ ).

Очевидно, что производство энергосберегающих электродвигателей связано с дополнительными затратами, которые можно оценить с помощью коэффициента удорожания  $K_y$ , значение которого мы предлагаем определять следующим образом:

$$K_y = 1 + (1 - KПД_{норм}) e \quad (2)$$

Результаты расчетов показывают [3], что в условиях СНГ дополнительные затраты, связанные с приобретением энергосберегающих электродвигателей, окупаются за счет экономии электроэнергии за 2-3 года в зависимости от мощности двигателя. При этом

срок окупаемости более мощных двигателей меньше, так как эти двигатели имеют большую годовую наработку и более высокий коэффициент загрузки. В ряде стран вопросы энергосбережения в стандартных асинхронных двигателях связывают не столько со снижением эксплуатационных затрат, сколько с экологическими проблемами, обусловленными производством электроэнергии [5, 6]. В ряде сфер народного хозяйства нашей страны, в частности, в жилищном коммунальном хозяйстве традиционно установлены электродвигатели с большим запасом по мощности в расчете на максимальную производительность оборудования, несмотря на то, что часы пиковой нагрузки составляют всего 15%-20% общего времени его работы. В результате электродвигатели с постоянной скоростью вращения потребляют в среднем значительно (иногда до 60%) больше электроэнергии, чем это необходимо. Отсюда следует, что основные резервы сбережения электрической энергии заключены в широкомасштабном применении энергосберегающих электроприводов. Наиболее радикальным, дающим большую экономию электроэнергии способом (до 30%-50%) является оснащение электродвигателей частотными преобразователями, позволяющими регулировать частоту их вращения в зависимости от реальной нагрузки. При этом не требуется замена стандартного электродвигателя, что особенно актуально при реконструкции объектов. Отсюда возникает важнейшее направление совершенствования современных АД – это их **возможность работать в системах регулируемого электропривода**. Реализация данного весьма перспективного направления требует от разработчиков электротехнической продукции учета определенных факторов. Во-первых, при работе от преобразователя частоты в ряде случаев необходимо предусматривать защиту двигателя от перенапряжения (если это не предусмотрено в системе) путем усиления витковой и корпусной изоляции. Большинство выпускаемых и применяемых в настоящее время преобразователей частоты, рассчитанных на среднюю мощность до 3000 кВт, по своей структуре являются инверторами. Выходное трехфазное напряжение в этих преобразователях частоты формируется методом широтно-импульсной модуляции, что приводит к воздействию на изоляцию (витковую, межфазовую) электродвигателя напряжения импульсной формы, амплитуда которого значительно превышает амплитуду первой гармоники выходного напряжения. Это приводит к преждевременному старению изоляции и снижению срока службы обмотки и двигателя в целом. Увеличение срока службы асинхронного двигателя общепромышленного применения в составе регулируемого привода может и должно быть обеспечено схмотехническими решениями преобразователя частоты или введением специальных фильтрующих устройств в цепь питания электродвигателя [1]. Во вторых, разработка преобразователя частоты и регулируемого электродвигателя в едином конструктивном исполнении позволяет оптимизировать систему электропривода не только по массогабаритным показателям и удобству обслуживания, но и с позиций единой системы независимого теплоотвода решить вопрос охлаждения машины на малых частотах вращения. В третьих, при регулировании частоты вращения, превышающей синхронную, следует применять подшипники соответствующей быстроходности. В связи с этим в публикации МЭК 60034-1 предусмотрено значительное увеличение предельных скоростей, допускаемых для стандартных АД.

Области применения регулируемого электропривода весьма обширны. В жилищно-коммунальном хозяйстве и коммерческом секторе это: насосы холодной и горячей воды в центральных тепловых пунктах; насосные установки водоканальных и тепловых

сетей; насосные установки очистных станций; компрессоры, вентиляторы, кондиционеры, установленные в зданиях. В топливно-энергетическом комплексе: буровые установки, насосы нефтеперекачки и компрессоры газоперекачки; экскаваторы, электротрансмиссии мощных карьерных самосвалов, карьерные дизель-троллейбусы, транспортеры и конвейеры, дробилки и мельницы, шахтные подъемные машины и шахтный электротранспорт; насосные и вентиляторные установки ТЭС, ТЭЦ, РТС и котельных, насосные установки тепловых сетей и др. В промышленности и сельском хозяйстве это: перемешивающие устройства, центрифуги, насосы, компрессоры, вентиляторы; электроприводы обрабатывающих станков, электротранспортеры и конвейеры, печи, мельницы и др. Эффективность использования регулируемого электропривода в конкретных механизмах выражается в экономии электроэнергии при использовании регулируемого электропривода в различных механизмах. Например, в насосах достигается экономия на 25-30%, в компрессорах – на 40%, в вентиляторах – на 30%, в центрифугах – на 5-%, в дымососах – от 30 до 80%.

Учитывая, что эти типы механизмов составляют более 50% от общего количества используемых электроприводов, данное направление является приоритетным для внедрения. Другое важное достоинство регулируемого электропривода - это снижение эксплуатационных затрат, которое имеет несколько составляющих: снижения величины пусковых токов электродвигателей до уровня номинальных и, соответственно, исключения вредного воздействия этих токов на питающую сеть; практического исключения из работы дросселей, заслонок, различного рода клапанов; исключения гидроударов в гидравлической сети, плавное изменение подачи воздуха в вентиляторах и др., т. е. исключение или существенное снижение динамических воздействий на технологическое оборудование и сети; продления срока службы подшипников и др. вращающихся частей, поскольку механизмы, снабженные преобразователями частоты в течение длительного времени работают с частотами вращения меньшими номинальных.

В результате значительно снижаются эксплуатационные расходы и уменьшаются возможности аварийности всего оборудования в целом [6]. По оценке американских экспертов считается, что экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат по меньшей мере сопоставим с эффектом от прямого сбережения энергоносителей. Третьим важным достоинством применения регулируемого электропривода является экономия воды и тепла при использовании его в насосных установках. Так, в жилищно-коммунальном хозяйстве применение преобразователей частоты в повышающих насосах горячей и холодной воды позволяет экономить до 10%-15% воды и до 8%-10% тепла. Во всем мире уделяется большое внимание расширению производства регулируемых электроприводов переменного тока. По различным источникам в промышленно-развитых странах от 50% до 70% выпускаемых и запускаемых в эксплуатацию электроприводов являются регулируемыми, а к 2006 году их доля возрастет до 80%-90%. Столь высокие темпы роста производства и введения в эксплуатацию регулируемых электроприводов обусловлены их высокой рентабельностью. Как сказано выше, электропривод, являясь крупнейшим потребителем электроэнергии и потенциально огромным резервом энергосбережения, обеспечивает за счет экономии энергоресурсов большой экономический эффект. Разработка и внедрение регулируемого электропривода, как нам представляется, является одним из самых перспективных и экономически оправданных направлений из всех энергосберегающих технологий. Уже в настоящее время емкость рынка

преобразователей частоты для Украины составляет, по оценкам экспертов десятки млн. штук, в том числе несколько сот тысяч – для систем жилищно-коммунального хозяйства. Рынок регулируемых электроприводов в Европе в 2000 году составил порядка 1 млрд. \$, в 2001 - 1.45 млрд. \$., в 2002 год около 1,9 млрд. \$, а к 2006 году может превысить 2 млрд. \$. Сроки окупаемости при внедрении регулируемого электропривода составляют менее 1,0 года, причем источником капитальных вложений последующих энергосберегающих мероприятий может выступить экономия денежных средств, полученная вследствие реализации работ первых этапов. Эффект будет более значительным в связи с тенденцией повышения цен на энергоносители.

С энергосбережением – уменьшением потерь в анализируемой продукции и при ее использовании – неразрывно связано второе также чрезвычайно важное направление совершенствования – это **повышение ресурса** асинхронного двигателя вследствие снижения температуры его обмоток. При применении системы изоляции класса нагревостойкости  $F$  ( $q_6 = 100^\circ\text{C}$  и  $q_6 - q = 20^\circ\text{C}$ , где  $q_6$  и  $q$  - превышение температуры обмоток над температурой окружающей среды, соответствующее базовому ресурсу и фактическое) теоретический ресурс системы изоляции обмотки увеличивается в 4 раза согласно известному соотношению [3]:

$$T_{cl} = T_{cl,6} \exp [-0,1 \ln 2 (q_6 - q)], \quad (3)$$

где  $T_{cl}$  и  $T_{cl,6}$  - средний и базовый ресурсы системы изоляции обмоток, причем  $T_{cl,6} = 2103$  ч.

В действительности ресурс обмотки определяется не только термодеструкцией, но и другими факторами (коммутационным перенапряжением, механическими усилиями, влажностью и др.), поэтому он увеличивается не так значительно, но при этом не менее, чем в 2 раза. Руководствуясь этими соображениями, европейские фирмы-производители стандартных АД придерживаются правила применения систем изоляции класса нагревостойкости  $F$  ( $q_6 = 100^\circ\text{C}$ ) при превышении температуры обмоток, соответствующем базовому для систем изоляции класса нагревостойкости  $B$  ( $q_6 = 80^\circ\text{C}$ ). Снижение температуры обмоток стандартных АД способом охлаждения IСО141 МЭК 60034-6 позволяет в уменьшить диаметр вентилятора наружного обдува и существенно (до 5 дБ(А)) снизить уровень вентиляционного шума, который в двигателях с частотой вращения 3000 и 1500 мин<sup>-1</sup> является определяющим.

Третьим важным направлением в совершенствовании анализируемой техники является обеспечение необходимого уровня **сервис-фактора** в новых конструкциях АД. Декларирование сервис-фактора означает, что двигатель, работающий при номинальных напряжении и частоте может быть перегружен до мощности, получаемой путем умножения номинального значения на сервис-фактор. Обычно сервис-фактор принимают равным 1,15, реже – 1,1. При этом превышение температуры обмоток должно быть не более 90 и 115<sup>o</sup>C для систем изоляции класса нагревостойкости В и F соответственно. Применение двигателей с сервис-фактором позволяет: избежать переустановленной мощности для двигателей, работающих с систематическими перегрузками до 15%; эксплуатировать двигатели в сетях с существенными колебаниями напряжения без снижения нагрузки; эксплуатировать двигатели при повышенной температуре окружающей среды без снижения нагрузки. Результаты расчетов показывают [4], что при равномерном распределении перегрузок во всем

временном интервале допустимая суммарная длительность работы двигателя, имеющего сервис-фактор 1,15, с 15%-ой перегрузкой составляет треть ресурса. И в этом случае энергосберегающие двигатели с изоляцией класса нагревостойкости  $F$  и превышением температуры обмоток, соответствующем классу  $B$ , автоматически имеют сервис-фактор 1,15.

Следующим важнейшим направлением совершенствования АД является обеспечение **универсальности их питания**. В настоящее время большинство стандартных АД в Украине выпускают на напряжение сети 380 В при частоте 50 Гц. Вместе с тем МЭК предусматривает к 2006-2008 гг. переход на напряжение 400 В (публикация МЭК 60038). При этом необходимо будет обеспечивать длительную работу двигателя при отклонениях напряжения от номинального  $\pm 10\%$  (сейчас это ограничение установлено на уровне  $\pm 5\%$  - публикация МЭК 60031-1). Для обеспечения работы двигателя при пониженном на 10 % напряжении питания потребуются новые подходы при проектировании с целью создания соответствующих температурных запасов. Следует отметить, что и в этом случае для энергосберегающих двигателей с сервис-фактором 1,15 проблем не будет. Все европейские фирмы уже производят стандартные АД на напряжение 400 В, украинские заводы – пока только для поставок на экспорт. Одним из насущных требований европейского рынка является обеспечение возможности работы двигателя при напряжении 400 В и частоте 50 Гц от сети 480 В и 60 Гц при повышенной на 20 % номинальной мощности. Такую возможность также следует предусматривать при проектировании новых машин.

И, в заключение, несколько положений о необходимости соблюдения **электромагнитной совместимости**. Вопросы электромагнитной совместимости в настоящее время приобретают все большее значение при освоении и сертификации новых серий электродвигателей. Электромагнитная совместимость электродвигателя определяется его способностью в реальных условиях эксплуатации функционировать при воздействии случайных электрических помех и при этом не создавать недопустимых радиопомех другим средствам. Помехи от электродвигателя могут возникать в присоединенных к нему цепях питания, заземления, управления, в окружающем пространстве. Международные правила устанавливают нормы на уровни устойчивости двигателей к отклонениям напряжения и частоты, несимметрии и несинусоидальности питающего трехфазного напряжения, а также методы испытания двигателей на устойчивость к помехам.

Вместе с тем при проектировании и производстве АД для внешнего рынка необходимо руководствоваться публикацией МЭК 1000-2-2, в которой установлены уровни совместимости для низкочастотных распространяющихся по проводам помех и передаче сигналов в низковольтных системах электропитания. При этом измерительное оборудование должно обеспечивать и спектральный анализ на базе компьютерных информационно-измерительных систем. На отечественном рынке этого нового оборудования представлена продукция всех ведущих фирм мира: "Hitachi", "Mitsubishi", "ABB", "Allen Bradley", "Danfoss" и др.

Как правило все они производят выпуск и продажу полного комплекса соответствующих товаров – преобразователи, фильтры, двигателя, коммутационное оборудование и т.д. Мировое сообщество оценило неизбежность проблемы энергоресурсосбережений для Украины и России и провело оценки рынка энергосберегающих технологий, особенно регулируемых электроприводов с его самой высокой рентабельностью среди всех других отраслей. Его потенциальные объемы

привели к реально наблюдаемым признакам товарной интервенции. Итогом неконтролируемого допуска зарубежных производителей на рынке энергоресурсосберегающего оборудования и технологий может оказаться попадание под жесткий стратегический контроль крупных корпораций. Многие трансконтинентальные корпорации ввели демпинговую политику на ряд своих устройств при продажах на территории Украины, а также используются специальные методы захвата рынка в виде "целевых" кредитов, организации специальных конференций с бесплатным выездом на них ключевых чиновников и т.д. Анализ украинского рынка АД, электроприводов и преобразователей к ним показал, что продаваемое в настоящее время местными фирмами оборудование собственного производства, как правило, не соответствует декларируемым параметрам, подавляющее большинство не может быть использовано без переработки под конкретную задачу.

Хотя существуют разработки и опытные экземпляры, не уступающие и даже опережающие западные аналоги при работе с отечественными двигателями, например разработки "НДВФ ЭПА" (костяк ее составляет бывшая исследовательская группа кафедры "ЭПА КПИ") имеющие разработанные привода на самой современной элементной базе, но не имеющие базы для запуска устройств в серийное производство. Учитывая московский опыт, наиболее рациональной схемой решения проблемы является создание фирмы частично принадлежащей муниципалитету, частным инвесторам, фирме способной в сжатые сроки разработать и обеспечить менеджмент выпуска модельного ряда технологических устройств, завода изготовителя и т.д. Опыт показывает, что конечные устройства получаются дешевле западных аналогов, а затраты окупаются в течении года.

Сравнение украинских и западных преобразователей частоты показывает, что, несколько выигрывая в ценовой конкуренции, они пока незначительно проигрывают западным по показателям надежности и долговечности. Причиной этого является невысокое качество поставляемых из стран СНГ и регионов РФ комплектующих изделий. Основная проблема предлагаемых на рынке приводов производства СНГ это ориентация последних на постсоветскую элементную базу и конструктивные идеи тех времен. Проводимая эксплуатационная доводка преобразователей частоты и работа с поставщиками комплектующих изделий позволяют надеяться на повышении качества. Однако для достижения мировых показателей необходим комплексный подход к разработкам и организации производства с объединением усилий предприятий, имеющих опыт в разработке и производстве аналогичных изделий, комплектующих приборов и элементной базы.

1. Андрианов М.В., Родионов Р.В. Определение параметров фильтрующих устройств для обеспечения электромагнитной совместимости электроприводов // Электротехника. 1999. № 11.
2. Кравчик А.Э., Пискунов С.В., Русаковский А.М., Соболенская Е.А. АД новой серии 5А // Приводная техника. 1997. № 2.
3. Кравчик А.Э., Русаковский А.М. К вопросу о реализации положений федерального закона об энергосбережении применительно к низковольтным асинхронным двигателям общего применения // Электротехника. 1997. №8.
4. Кравчик А.Э. Электродвигатели с сервис-фактором // Электротехника. 1996. №2.
5. Перерва П.Г. Потребность в электротехнических средствах автоматизации. Теория и методы определения.- Х.: Основа, 1991.- 141 с.
6. David Walter. Energy efficient motors // Power Engineering Journal. 1999.

7. Кобелев В.М. Сучасний стан та перспективи розвитку українського ринку електротехнічних виробів // “Економіка розвитку”: наук. журн. - Харків: ХНЕУ, 2006.- С. 72-75.

*Получено 01.10.2008 г.*

**П.Г. Перерва, Т.О. Кобелева**  
**Інноваційні технології підвищення кон'юнктури ринку**  
**асинхронних електродвигунів**

*Досліджені основні напрями вдосконалення асинхронних двигунів. Визначено, що головними напрямками вдосконалення асинхронних електродвигунів є наступні. По-перше, розробка енергозберігаючих конструкцій. По-друге, це можливість працювати в системах регульованого електроприводу. У третіх, це можливість роботи при перевантаженнях. У четвертих, це розширений діапазон напруги і електромагнітна сумісність. Розглянуті питання вдосконалення економічної оцінки електротехнічних виробів на прикладі асинхронних двигунів. Запропонована методика визначення економічного ефекту у виробника і споживача продукції. Надані рекомендації по встановленню коефіцієнта дисконтування витрат.*