МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

(МГС)

INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION (ISC)

## М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

**ГОСТ IEC/TS** 60034-31—

2015

**Машины электрические вращающиеся**

# Часть 31

**Выбор энергоэффективных двигателей, включая приводы с регулирующей скоростью**

**Руководство по применению**

## (IEC/TS 60034-31:2010, ЮТ)

Издание официальное

Москва Стандартинформ

2016

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

## Предисловие

Цели, основные принципы и порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, пра­ вила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обнов­ ления и отмены»

Сведения о стандарте

1. ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «всероссийский научно-исследова­ тельский институт сертификации» (ОАО «ВНИИС») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии международного стандарта, указанного в пункте 5
2. ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии
3. ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 10 декабря 2015 г No 48-2015)

За принятие проголосовали:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Краткое наименование страны | Ксщ страны по МК | Сокращенное наименование национального ортана |
| по МК |ИСО 3166) 004-37 | {ИСОЭ166) 004-97 | по стандартизации |
| Армения | AM | Минэкономики Республики Армения |
| Киргизия | KG | Кыргызсгандарт |
| Россия | RU | Россгандарт |

1. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 августа 2016 г. No 920-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015 введен в действие в ка­ честве национального стандарта Российской Федерации с 1 марта 2017 г.
2. Настоящий стандарт идентичен международному документу 1ЕСЯв 60034-31:2010 «Машины электрические вращающиеся. Часть 31. Выбор энергоэффективных двигателей, включая приводы с ре­ гулирующей скоростью. Руководство по применению» («Rotating electrical machines — Part 31: Selection of energy-efficient motors including variable speed applications — Application guide», IDT).

В разделе «Нормативные ссылки» и тексте настоящего стандарта ссылки на международные стандарты актуализированы.

Международный стандарт разработан Техническим комитетом по стандартизации IEC/TC 2 «Вра­ щающиеся электрические машины».

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных между­

народных стандартов соответствующие им межгосударственные стандарты, сведения о которых при­ ведены в дополнительном приложении ДА

1. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

II

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

##### *Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом ин­* формационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежеме­ сячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего поль­ зования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и ме­ трологии е сети Интернет ([www.gost.ru](http://www.gost.ru/))

© Стандартинформ, 2016

8 Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроиз­ веден. тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства ло техническому регулированию и метрологии

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

## Содержание

1. [Область применения. 1](#_bookmark0)
2. [Нормативные ссылки. 1](#_bookmark1)
3. [Термины, определения и символические обозначения. 1](#_bookmark2)
	1. Термины и определения. 1
	2. Символические обозначения. 1
4. [Общие положения. 2](#_bookmark3)
5. [Коэффициент полезного действия. 3](#_bookmark4)
	1. Общие положения. 3
	2. Потери в двигателе. 4
	3. Добавочные потери в двигателе при работе с частотным преобразователем 5
	4. Двигатели более высоких классов экономичности. 5
	5. Изменчивость потерь в двигателях. 6
	6. КПД при неполной нагрузке. 7
	7. Методы проверки КПД. 8
	8. Коэффициент мощности. 8
	9. Согласование двигателей и различных частотных преобразователей 10
	10. Двигатели с номинальной частотой 50 и 60 Гц. 11
	11. Двигатели, рассчитанные на разные номинальные напряжения

или на диапазон напряжений. 12

* 1. Двигатели, рассчитанные на работу при частотах, отличных от 50/60 Гц 12
	2. Энергоэффективность частотного преобразователя с регулируемой частотой. 12
	3. Коэффициент мощности частотного преобразователя. 14
1. [Рабочие условия. 15](#_bookmark5)
	1. Пусковые характеристики. 15
	2. Рабочая скорость и скольжение ротора. 15
	3. Влияние качества электроэнергии и колебаний напряжения и частоты 15
	4. Эффект асимметрии напряжений. 16
2. [Области применения. 16](#_bookmark6)
	1. Общие положения. 16
	2. Экономия энергии посредством использования двигателей

с регулируемой скоростью вращения. 17

* 1. Правильный выбор нагрузочного режима. 17
	2. Работа в непрерывном режиме. 17
	3. Сферы применения с длительными периодами легкой нагрузки двигателя. 18
	4. Сферы применения с управляемыми нагрузками. 18
	5. Сферы применения, в которых момент нагрузки возрастает с увеличением скорости

(насосы, вентиляторы, компрессоры и др.). 19

* 1. Сферы применения, в которых осуществляются частые пуски

и остановы двигателей и/или механическое торможение. 20

* 1. Применения во взрывоопасной газовой среде и в среде горючей пыли. 20
1. [Экономические аспекты. 20](#_bookmark7)
	1. Пользовательские затраты. 20
	2. Исходная стоимость приобретения. 21

IV

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

* 1. Эксплуатационные расходы. 21
	2. Стоимость перемотки двигателя. 23
	3. Срок окупаемости затрат. 23
	4. Затраты в течение всего жизненного цикла. 24
1. [Техническое обслуживание. 25](#_bookmark8)

Приложение А (справочное) Сверхвысокий класс энергоэффективности (IE4). 26

Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии межгосударственных стандартов

ссылочным международным стандартам. 32

Библиография. 33

V

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

## Введение

Настоящий стандарт содержит руководящие указания по использованию экономичных двигателей с постоянной или регулируемой скоростью и не касается чисто коммерческих аспектов этой проблемы.

Стандарт охватывает не методы получения высокой эффективности, а испытания, которые дают

гарантию ее определенного уровня.

В течение последних 15 лет во многих регионах мира применяют трехфазные асинхронные дви­ гатели с короткозамкнутым ротором мощностью порядка 200 кВт. поскольку двигатели такой мощности, как правило, серийного производства, устанавливаются практически повсюду. Конструкция этих двига­ телей часто диктуется потребностями рынка благодаря их относительно невысокой стоимости, однако именно по причине такого критерия выбора наивысший приоритет никогда не отдавался малому по­ треблению энергии.

Для двигателей с номинальной мощностью 1 МВт и выше, которые обычно изготовляются по за­ казу. высокая экономичность всегда была одной из важнейших целей проектирования; их коэффициент полезного действия при полной нагрузке лежит в диапазоне от 95 до 98 %. Заданный КПД двигателя обычно является частью контракта на его приобретение, и изготовителя ждут штрафные санкции в слу­ чае невыполнения контрактных обязательств. Это значит, что при назначении классов экономичности повышенные значения КПД отходят на второй план.

В настоящем стандарте применены следующие шрифтовые выделения;

* требования — светлый;
* термины —полужирный;
* методы испытаний— курсив;
* примечания —летит.

VI

**ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015**

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

Машины электрические вращающиеся Часть 31

Выбор энергоэффективных двигателей, включая приводы с регулирующей скоростью

Руководство по применению Rotating electrical machines — Part 31:

Selection of energy-efficient motors including variable speed applications — Application guide

Дата введения — 2017—03—01

## Область применения

В настоящей части серии стандартов IEC 60034 представлены руководящие указания по решению технических вопросов применения экономичных трехфазных электродвигателей. Они затрагивают не только производителей двигателей, изготовителей комплектного оборудования, конечных пользовате­ лей, регуляционные и законодательные органы, но и все другие заинтересованные стороны.

Данная техническая спецификация применима ко всем электрическим машинам, которые охва­ тываются стандартом IEC 60034-30. однако большая часть информации имеет отношение также и к асинхронным двигателям с короткозамкнутым ротором с выходной мощностью выше 375 кВт.

## Нормативные ссылки

Перечисленные ниже ссылочные документы обязательны для применения данного документа. В случае датированных ссылок действующим является только указанное издание. Применительно к недатированным ссылочным документам применяются их самые последние издания (включая все по­ следующие изменения):

##### IEC 60034-1 *Rotating electrical machines* — *Part 1: Rating and performance (Машины электрические* вращающиеся. Часть 1. Номинальные и рабочие характеристики)

IEC 60034-30 *Rotating electrical machines* — *Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (iE-code) [Машины электрические вращающиеся. Часть 30. Классы КПД одно­* *скоростных трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (коды IE)]*

## Термины, определения и символические обозначения

* 1. Термины и определения

8 настоящем документе применяются термины и определения из IEC 60034-1 и IEC 60034-30.

* 1. Символические обозначения

7П — номинальный КПД. %

*/}н* — расчетный КПД. %

Издание официальное

1

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

*fN —* номинальная частота. Гц

r?N \_ номинальная скорость ращения, об/мин

*Ры* — номинальная выходная мощность. кВт

*TN* \_ номинальный выходной крутящий момент. Нм

*U**N —* номинальное напряжение. В

## Общие положения

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Электрические | Механические |  | Область |  | . Заводская |  | Восполнение |
| компоненты | компоненты |  | применения |  | I автоматике |  | энергии |
| Надлежащее плановое техническое обслуживание |
| I - - - - - - - - - - - - - - - f !Энергосберегающие двигатели | Энергосберегающие редукторы, задвижки ит. п. |  | Приводыс регулируемой осо ролью |  | Мэвсимэгъно эффективное энергоснабжение |  |  |
| Устройства коррекции коэффициента мощности | Энергосберегающие насосы, вентиляторы, компрессоры и др. |  | Сокращение потерь При передаче электроэнергии | Режим такого«ерголотребпеиыя при простоях |

Использование наиболее экономичных компонентов

Безударный пуск с регулированием частоты

врацешя

с

Миниимивацкя инерции вращения

Рисунок 1 — Общий обзор различных звеньев систем электропривода, в которых возможна экономия энергетических затрат

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Приводыс регулируемойr«yt|VSn\*WH\ | Максимально эффективное энергоснабжение |  | Рекуперативное торможение |
|  | Соединениес гымией |
| Оптимизация массы и потока | Режим юижого энергопотребления при простоях | постоянного токабатареи е утыраконден- еаторамы, маховики и т п |

Экономия энергии может достигаться в разных звеньях систем электропривода — в зависимости от режима их работы (непрерывного или прерывистого).

В случае непрерывного режима важную роль в экономии энергии играет повышение КПД

двигателя. Увеличение коэффициента мощности (за счет применения частотного преобразователя или синхронного двигателя) может способствовать уменьшению потерь мощности (lsR) в кабелях. Оптимизация механических узлов (редукторов, ременных передач, насосных агрегатов, вентиля­ торов и др.) способна дать гораздо большую экономию, чем усовершенствование самого электро­ двигателя.

Имеет значение и конкретная область применения, так как во многих случаях существенная эко­ номия потребляемой энергии может быть получена за счет регулирования нагрузки прикладной си­ стемы; в этих случаях часто оказывается полезным использование регулирования скорости вращения электрических машин е соответствии с изменением потребностей в электроэнергии.

Обычно приносит выгоды и правильно организованное техническое обслуживание. Для многих промышленных предприятий характерно высокое энергопотребление е низковольтных цепях управле­ ния (как правило, это бывают 24-вольтовые источники питания). В этих условиях должны использо­ ваться высокоэффективные низковольтные источники, и. если это возможно, при длительных периодах простоя предприятие должно закрываться (например, на выходные и праздничные дни).

2

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Потери, Вт

#### 10000

1000

100

1.1 11 110

* - двигатель класса IE2;
* - двигатель класса IE3;

Номикагьная выходная мощность. кВт

* - двигатель IE2 + преобразователь;
* - двигатель IE3 + преобразователь;
* - двигатель IE3 + преобразователь + тормозная катушка

Рисунок 2 — Типичные потери в двигателях с низким энергопотреблением, преобразователях и электромеханических тормозных системах

На рисунке 2 представлен общий обзор типичных потерь мощности в энергосберегающих двига­ телях в сравнении с типичными потерями в системах силового привода, включая двигатели с преоб­ разователями частоты питающей сети, оснащенные и не оснащенные катушками электромеханических тормозов.

В прикладных системах с прерывистым режимом функционирования двигатели с малым потре­ блением энергии не особенно эффективны и могут даже потреблять больше энергии вследствие воз­ растания их инерционных и пусковых токов. В таких приложениях потребление энергии на стадии пуска может быть сокращено путем обеспечения линейного характера изменения тока с помощью частотного преобразователя. Сохранение энергии в прерывистом режиме может принести ощутимые выгоды, ког­ да рабочий цикл двигателя включает в себя фазы рекуперативного торможения {например, в приводах лебедок, лифтов, подъемных кранов и т. п.).

## Коэффициент полезного действия

* 1. Общие положения

Коэффициент полезного действия (КПД) двигателя — это мера эффективности преобразования электрической энергии е механическую, выражаемая отношением выходной мощности ко входной:

##### *Выходная мощность Выходная мощность*

*КПД* а-------------------------------- -----------------------------------------------

входная *мощность* входная мощность \* *потери*

Значения КПД двигателей обычно приводятся применительно к номинальной нагрузке, но могут даваться также приближенные значения для 3/4 и половинной номинальной нагрузки.

Как показано ниже, коэффициент полезного действия двигателя зависит главным образом от его

нагрузки, номинальной мощности и скорости вращения:

3

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

1. изменение КПД в зависимости от нагрузки является основной внутренней характеристикой дви­ гателей; работа двигателя под нагрузкой, существенно отличающейся от номинальной, может приво­ дить к изменению его КПД (см. рисунок 3);
2. обычно КПД двигателей при полной нагрузке возрастает с увеличением их физических разме­ ров и номинальной выходной мощности;
3. при одинаковой номинальной мощности двигатели с более высокой скоростью вращения обыч­ но (но не всегда) имеют и более высокий КПД; однако это не значит, что всю аппаратуру следует ос­ нащать высокоскоростными двигателями: в тех случаях, когда для получения более низкой скорости требуются механизмы ее понижения (например, лебедки или редукторы), дополнительные потери из-за применения двигателей с высокой скоростью вращения могут привести к уменьшению КПД до уровня ниже обеспечиваемого низкоскоростным прямым приводом.

Существует определенная зависимость между номинальной скоростью вращения (об/мин) и КПД асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором: чем ниже номинальная скорость, тем меньше КПД. поскольку мерой потерь в обмотке ротора является характеристика скольжения двигателя (скольжением называется разность между синхронной и рабочей скоростью). Этот показатель, выражаемый в процентах, равен разности скоростей, деленной на синхронную скорость и умноженной на 100. Таким образом, асин­ хронные двигатели любой конструкции с короткозамкнутым ротором, характеризуемые скольжением мень­ ше 5 %. всегда экономичнее, чем двигатели, имеющие большее скольжение, и потому им должно отдавать­ ся предпочтение во всех случаях, когда соответствующая прикладная система допускает их применение.

При таких нагрузках, как насосы, вентиляторы и воздушные компрессоры, можно получить су­ щественную экономию энергии за счет использования многоскоростного двигателя или двигателя с регулируемой скоростью. Следует, однако, отметить, что КПД многоскоростного двигателя на каждой рабочей скорости оказывается несколько ниже, чем у односкоростного двигателя с сопоставимыми но­ минальными характеристиками. Однообмоточные многоскоростные двигатели (например, с обмоткой Далакдера) обычно бывают более экономичными по сравнению с двухобмоточными.

Двигатели, которые работают непрерывно или в течение длительных периодов времени, предо­ ставляют довольно богатые возможности для сокращения энергопотребления. Примерами таких сфер применения являются технологические агрегаты, пневматическое оборудование, насосы и многие типы промышленных установок.

Среди множества двигателей, работающих непрерывно, есть множество таких, которые исполь­ зуются кратковременно и имеют очень малую суммарную наработку часов за год. Примерами такого применения могут служить двигатели вентилей, приводы шлюзовых ворот, промышленные устройства открывания дверей, пожарные помпы и канализационные насосы. Во всех этих случаях изменение КПД двигателя не будет оказывать заметного влияния на суммарные энергозатраты, поскольку потребление энергии мало и увеличение КПД может привести к ухудшению требуемых рабочих характеристик.

Небольшое увеличение КПД двигателя на несколько процентных пунктов может соответствовать весьма существенному сокращению потерь в двигателе. Например, при неизменной выходной мощ­ ности увеличение КПД с 75 до 78.9 %, с 85 до 87.6 % или с 90 до 91.8 % означает в каждом случае со­ кращение энергетических потерь на 20 %.

Так как КПД. как правило, возрастает с увеличением размеров двигателя, высоковольтные элек­ трические машины с выходной мощностью выше 1 МВт обычно имеют КПД больше 95 %.

Примечание — Поскольку выходная мощность электродвигателя возрастает пропорционально квадра- ту диаметра его ротора, допустимое рассеяние тепла увеличивается почти линейно. Следовательно, необходимым условием разработки более мощных двигателей является повышение их КПД.

* 1. Потери в двигателе

Электродвигатель преобразует электрическую энергию в механическую и в этом процессе порож­ дает потери энергии, которые могут быть охарактеризованы следующим образом:

1. Потери в электрической части (в статоре и роторе), зависящие от нагрузки. Ток. протекающий через обмотки статора и ротора, порождает потери, пропорциональные произведению квадрата тока на сопротивление обмоток (l2R); потери в роторе возрастают с увеличением скольжения.
2. Потери в железе, обычно не зависящие от нагрузки. Потери этого типа порождаются главным образом в шихтованном стальном сердечнике статора и (в меньшей степени) в роторе. Магнитное поле, важное для создания крутящего момента двигателя, приводит к возникновению потерь из-за перемаг- ничивания и вихревых токов.

4

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

с) Механические потери (на трение и на сопротивление воздуха), никак не связанные с нагрузкой. Такие потери возникают в подшипниках, вентиляторах и уплотнениях двигателя. 8 низкоскоростных двигателях IP2X. IP4X и IP5X они обычно малы, но могут достигать существенных значений в крупнога­ баритных. высокоскоростных или полностью закрытых двигателях.

(1)До6авочные нагрузочные (паразитные) потери. К этому типу относятся добавочные основные потери и высокочастотные потери в железе, потери в проводнике обмотки статора, потери от циркуля­ ционных токов в обмотке статора и от высших гармоник в проводниках ротора под нагрузкой. Все эти потери считаются пропорциональными квадрату крутящего момента.

8 таблице 1 перечислены различные составляющие потерь в двигателе, выраженные в процен­ тах от суммарных потерь, которые они представляют, и указаны проектные и конструктивные факторы, влияющие на их величину.

Таблица 1 — Распределение потерь в грехфазных четырехполюсных асинхронных двигателях с короткозам­ кнутым ротором

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Виды потерь | Типичная процентнаяпотерь е 4 «полюсных д виге теп хх | Факторы, влияющие на эти потери |
| Потери в статоре | от 30 до 50 | Типоразмеры проводников и материалов статора |
| Потери в роторе | от 20 до 25 | Типоразмеры проводнмсов и материалов ротора |
| Потери в сердечнике | от 20 до 25 | Тип и количество магнитного материала |
| Добавочные нагрузоч­ ные потери | от 5 до 15 | В основном методы изготовления и проектирования |
| Потери на трение и со­ противление воздуха | от 5 до 10 | Конструктивные характеристики вентиляторов и подшипнмсов |

Как правило, потери в двигателе могут быть сокращены путем увеличения в нем объема активно­ го электротехнического материала, т. е. проводников и магнитных материалов.

* 1. Добавочные потери в двигателе при работе с частотным преобразователем

Гармоники напряжения и тока в асинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором, порожда­ емые частотным преобразователем, приводят к возникновению добавочных потерь в железе и потерь мощности (l2R) в обмотках статора и ротора. Суммарная величина этих добавочных потерь никак не зависит от нагрузки и сокращается при увеличении частоты переключений в преобразователе.

8 неблагоприятных ситуациях добавочные потери в двигателе, вызываемые рабочей частотой преобразователя, способны увеличить суммарные потери в двигателе на 15—20 % по сравнению с ис­ пользованием синусоидального питающего напряжения.

Более подробную информацию по этим вопросам можно найти в IEC 60034-17 и IEC 60034-25.

* 1. Двигатели более высоких классов экономичности

Ожидается, что передовые технологии электротехники позволят производителям электротехниче­ ского оборудования проектировать новые двигатели класса энергоэффективности IE3 с более высоким КПД при размерах механических частей (фланцев, shaft heights etc.), сравнимых с существующими двигателями более низких классов энергоэффективности (например, описанными в EN 50347. NEMA MG1 и других локальных нормативных документах). Для использования таких новых двигателей обыч­ но требуются средства силовой электроники (частотные преобразователи).

Потери в роторе почти полностью исключаются в случае применения синхронных двигателей без обмотки возбуждения.

8 приложении А настоящей спецификации предлагается класс сверхвысокой энергоэффективно-

сти. который специально ориентирован на такие двигатели (хотя сам по себе класс IE4 не ограничива­ ется двигателями специального назначения).

Уже разрабатываются и в какой-то мере стали доступными для приобретения на коммерческой

основе синхронные двигатели с постоянными магнитами (PMSM) и реактивные синхронные двигатели

5

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

(RSM). Первые обычно характеризуются внутренним реактивным моментом (моментом яенополюсно- сти). а вторые могут возбуждаться постоянным магнитом, благодаря чему становится возможным соз­ дание систем гибридного привода.

В зависимости от количества используемого магнитного материала синхронные двигатели с по­ стоянными магнитами могут иметь больший коэффициент мощности по сравнению с асинхронным двигателем, благодаря чему повышается энергоэффективность как распределительной сети, так и ча­ стотного преобразователя. Однако для нормального функционирования таких двигателей требуется применение частотного преобразователя и датчика положения ротора (кодера), если в самом преоб­ разователе не используется бескодерный алгоритм управления.

В небольших по размерам и/или высокоскоростных двигателях обычно используется также

более простой коммутационный блок низкочастотного регулирования напряжения (это так называ­ емые бесщеточные двигатели постоянного тока, или двигатели с электронной коммутацией). Ос­ новной недостаток таких двигателей — возникающие добавочные потери от паразитных напряже­ ний и токов гармоник. Преимущества их по КПД перед асинхронными двигателями становятся еще менее ощутимыми при сравнении с усовершенствованными двигателями с постоянными магнита­ ми или реактивными синхронными двигателями с управлением посредством широтно-импульсной модуляции.

Еще одно усовершенствование конструктивных характеристик синхронных двигателей состоит в одновременном использовании постоянных магнитов и короткозамкнутого ротора, благодаря чему такой двигатель может запускаться в дистанционном режиме; это синхронные двигатели типа LSPM с постоянными магнитами с запуском от сети (line-start, permanent magnet), для управления которыми совсем не обязателен частотный преобразователь. Однако пусковые характеристики таких двигателей гораздо хуже по пульсации крутящего момента и издаваемому шуму: имеются также существенные ограничения по нагрузке линии и моменту инерции приведенной нагрузки. Двигатели этого типа тесно привязаны к соответствующей области применения и не могут использоваться в качестве электриче­ ских машин широкого назначения.

Примечание — По мере накопления практического опыта использования синхронных двигателей е стандартных областях применения предусматривается расширение сферы действия IEC 60034-30 и дополнение его приложением А настоящей публикации как нормативным.

* 1. Изменчивость потерь в двигателях

Для любой производимой продукции должны существовать определенные допуски по характе­ ристикам. зависящие от материалов и методов изготовления: двух абсолютно одинаковых изделий не бывает, даже если они сошли со сборочного конвейера в одно и то же время.

Это в равной степени относится и к электродвигателям. Существование производственных до­

пусков по таким материалам как сталь, используемая для изготовления пластин сердечников статора и ротора, неизбежно ведет к отклонениям в магнитных свойствах и в конечном итоге влияет на потери в железе и. как следствие, на КПД двигателя. На основе испытаний двигателя мощностью 7,5 кВт по­ ставщиками электротехнической стали были предложены 10-лроцентные допуски на потери в железе (от 300 до 330 Вт), что означает возможный рост общих потерь в двигателе с 946 до 976 Вт и возможное уменьшение его КПД с 88.6 % (IE2) до 88.5 % (IE1).

Изменчивость характеристик может быть также результатом ограничений, свойственных техно­ логическому процессу изготовления двигателя; поэтому существуют границы размеров его отдельных частей, диктуемые экономическими соображениями. Различные комбинации сочленяемых деталей вносят свой вклад в колебания размерных характеристик, таких как величина воздушного зазора, что, в свою очередь, приводит к колебаниям добавочных нагрузочных потерь, а следовательно, и КПД дви­ гателя.

Кроме того, могут возникать и неопределенности, порождаемые операциями изготовления и про­ цедурами ислытакий.

Отсюда следует, что прогнозирование КПД конкретного двигателя возможно только на основе

определяемого изготовителем номинального значения (которое должно быть эквивалентно среднему значению КПД по большой представительной статистической выборке из партии двигателей). Номи­ нальный КПД должен быть также больше или равен требуемому номинальному значению для соответ­ ствующего класса энергоэффективности (в соответствии с IEC 60034-30).

6

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Фактический КПД любого отдельного двигателя при номинальной нагрузке, номинальном напря­ жении и номинальной частоте вращения может быть и ниже номинального значения, но только на ве­ личину. не выходящую за пределы допуска no IEC 60034-1. Это уровень, достигаемый в том неблаго­ приятном случае, когда характеристики и материалов, и процессов изготовления находятся на самой низкой границе установленных допусков.

Номинальное значение КПД подлежит использованию при оценке мощности, требуемой для энер­ госнабжения определенного числа двигателей. Минимальное значение КПД (равное номинальному за вычетом допуска) позволяет пользователю двигателя на основании расчетов приобрести уверенность в том. что он действительно получит конкретный заданный уровень эффективности.

* 1. КПД при неполной нагрузке

Трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором демонстрируют практически постоянный КПД в широком диапазоне частичных нагрузок, что видно из рисунка 3.

Показанные на рисунке области значений КПД одинаково типичны для двух- и четырехполюсных двигателей; двигатели с большим числом полюсов будут иметь характеристики, отличные от показан­ ных на рисунке 3.

# кпд, %

Рисунок 3 — Типичные графики зависимости КПД от нагрузки

для трехфаэных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором 8 разных диапазонах выходной мощности (примерно 1.1; 15 и 150 кВт)

7

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Когда известны значения КПД под нагрузкой, равной 3/4 номинальной, для приближенного опре­ деления КПД при любой другой частичной нагрузке можно воспользоваться следующими расчетными формулами:

Р

где: 4100 — это КПД при номинальной нагрузке: ^75 — выраженный в процентах КПД при нагрузке, рав­ ной 3/4 номинальной; vL, промежуточные значения; *р —* желаемая мощность (отнесенная к номи­ нальной нагрузке); — результирующий КПД. выраженный в процентах.

Примечание — Не рекомендуется применять указанный алгоритм при нагрузках меньше 50 % или больше 125 % от номинальной.

* 1. Методы проверки КПД

Существует несколько методов контроля для определения коэффициента полезного действия двигателя. Стандартные методы испытания асинхронных электрических машин, используемые во всем мире, определены в IEC 60034-2-1. где представляются и несколько способов определения КПД дви­ гателя; каждый из этих методов обладает определенными преимуществами е точности, стоимости и удобстве контроля — в зависимости от конкретных характеристик двигателя. Некоторые из методов, приведенных в IEC 60034-2-1. гармонизированы с национальными стандартами, такими как CSA С390 и IEEE 112. часть В.

Предложенный в IEC 60034-2-1 метод остаточных потерь представляет собой определенную вы­ числительную процедуру выделения различных типов потерь из необработанных данных и сглажива­ ния добавочных (паразитных) нагрузочных потерь методом регрессионного анализа. Это может умень­ шить влияние ошибок, вносимых при проведении измерений в широком диапазоне нагрузок. — от 25 % до примерно 150 % номинальной нагрузки. В рамках этого метода осуществляется также приведение температурных условий испытаний к температуре 25 вС — для уменьшения колебаний результатов из- за различия фактических условий испытательной среды.

Общепринятый подход к получению исходных данных для диапазона мощностей от 0.75 до

370 кВт состоит в том. чтобы провести испытание двигателя с использованием нагрузочной маши­ ны и торсиометра и аккуратно произвести измерения входной и выходной мощности в нескольких точках нагрузки для определения составляющих потерь, а значит, и коэффициента полезного дей­ ствия.

Однако даже использование вполне подходящего и точного метода испытаний не спасает от не­ избежных колебаний результатов измерений для одного и того же двигателя — главным образом из-за ошибок, вносимых испытательным оборудованием и измерительной аппаратурой, а в случае неавтома­ тизированного испытания — еще и персоналом испытателей.

* 1. Коэффициент мощности

Показанные на рисунке 4 диапазоны изменения коэффициента мощности одинаково типичны для двух- и четырехполюсных двигателей. Характеристика двигателей, имеющих большее число полюсов, будет иной.

Полная нагрузка двигателя в работающем оборудовании обычно является основным фактором, определяющим коэффициент мощности системы. Низкий коэффициент мощности приводит к росту потерь в системе распределения. Асинхронные двигатели по своей природе вызывают запаздывание системного коэффициента мощности.

Коэффициент мощности асинхронного двигателя уменьшается с уменьшением нагрузки.

8

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Коэффициент мощности

Рисунок 4 — Типичный графж зависимости коэффициента мощности

от диапазона нагрузок трехфазных асинхронных двигателей с коротхозаыкнутым ротором е разных диапазонах выходной мощности (примерно 1.1:15 и 150 кВт)

Коэффициент мощности при номинальной нагрузке возрастает с увеличением номинальной мощ­ ности двигателя. Несколько асинхронных двигателей, работающих одновременно с малой нагрузкой, способны вызвать в системе электроснабжения существенное понижение коэффициента мощности. Низкоскоростные асинхронные двигатели при номинальной нагрузке имеют более низкий коэффициент мощности, чем высокоскоростные.

Небольшое увеличение напряжения (меньше чем на 10 %) по сравнению с номинальным уровнем будет уменьшать коэффициент мощности, и наоборот, небольшое понижение напряжения (меньше чем на 10 %) относительно его номинальной величины будет повышать коэффициент мощности асинхрон­ ного двигателя. Однако его другие рабочие характеристики могут испытывать обратное воздействие такого изменения напряжения, вследствие чего рекомендуется держать режим работы асинхронного двигателя как можно ближе к номинальным значениям напряжения и мощности, указанным в его па­ спортной табличке.

Решение о целесообразности или нецелесообразности улучшения коэффициента мощности и использования для этого конденсаторов, синхронных двигателей или иных мер корректировки должно приниматься после анализа системы энергоснабжения.

8 случае применения корректирующих конденсаторов для повышения коэффициента мощности электрической сети они подлежат тщательному отбору и контролю во избежание возникновения опас­ ных условий эксплуатации; по вопросу подбора корректирующих конденсаторов рекомендуется кон­ сультироваться с разработчиками сети.

9

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

* 1. Согласование двигателей и различных частотных преобразователей

Добавление в систему энергоснабжения преобразователя с регулируемой частотой создает во многих случаях благоприятные условия для повышения ее экономичности. Однако возникающие при этом дополнительные затраты на преобразователь (обычно превышающие стоимость двигателя бо­ лее высокой мощности) и добавочные потери, которые зависят от размеров и конструкции преобразо­ вателя и обычно исчисляются 2—5 % при номинальных значениях момента и скорости и составляют от 10 до 30 % при крутящем моменте и скорости на уровне 25% их номинальных величин, требуют серьезного анализа используемого приложения.

Первая группа приложений — это насосные агрегаты, вентиляторы и другие аналогичные объ­ екты с переменной нагрузкой, у которых крутящий момент возрастает примерно пропорционально ква­ драту скорости вращения двигателя. Входная электрическая мощность будет при этом увеличиваться пропорционально кубу скорости, когда расход потока в закрытых каналах и трубопроводах регулиру­ ется только заслонками и дроссельными клапанами. Непрерывное сглаживание входной мощности до требуемого уровня расхода может обеспечиваться приводом с регулируемой скоростью: соответствен­ но этому будут снижаться и потери. Должно приниматься во внимание и традиционное регулирование нагрузки с помощью многоскоростных двигателей или параллельных схем управления односкорост- ными двигателями, если такой способ может обеспечить выполнение нужной работы с меньшими за­ тратами и потерями. Ощутимые выгоды приносит использование приводов с регулируемой скоростью вращения, так как в этом случае открываются широкие возможности для серьезного повышения уровня экономичности.

Ко второй группе приложений относятся конвейеры, эскалаторы, лебедки и другие аналогичные механизмы, момент которых относительно независим от скорости. Привод с регулированием скорости может обеспечивать непрерывную бесступенчатую настройку скорости вращения в диапазоне от почти неподвижного состояния до полной величины и таким образом минимизировать потребляемую мощ­ ность. выигрыш в затратах и экономичности при этом будет меньше, чем в первой группе приложений, поскольку в данном случае входная мощность изменяется пропорционально скорости.

Третью группу образуют приложения, в которых изменения нагрузки и скорости минимальны, но от привода с регулированием скорости могут быть получены выгоды иного характера: например, безудар­ ный пуск и мягкая остановка или требование высокого пускового момента. Основным выигрышем здесь является не повышение эффективности использования энергии, а уменьшение износа машинного обо­ рудования. Существует множество других, более дешевых технических решений, ориентированных на обеспечение безударного пуска, однако все они. в отличие от привода с регулируемой скоростью, не приводят к экономии энергии.

В некоторых приложениях двигатели имеют излишне большие размеры и постоянно работают с неполной нагрузкой (50 % или меньше): хотя использование регулируемого частотного преобразо­ вателя способно в данном случае улучшить энергетические показатели за счет уменьшения входного напряжения двигателя, более подходящий выбор габаритных размеров с учетом требуемой нагрузки может способствовать сокращению затрат и большей экономии энергии.

Если не используются дополнительные синусоидальные фильтры, то двигатели, оснащенные приводом с регулируемой скоростью, подвергаются воздействию выбросов напряжения, которые су­ щественно больше пиков, возникающих при питании от сети. В настоящее время большинство новых промышленных двигателей на напряжение до 500 В имеют систему изоляции, которая способна вы­ держать такие напряжения без каких-либо проблем. Для более высоких напряжений питания должны рассматриваться двигатели, охватываемые стандартом IEC 60034-25.

В случае использования в существующих приложениях двигателей старой конструкции в со­ четании с частотными преобразователями с регулируемой частотой необходимо консультирование с изготовителем двигателя. Кроме того, важно определить максимально безопасную рабочую скорость двигателя в случае существенного превышения регулируемым приводом промышленной частоты (50 или 60 Гц). Такая информация обычно присутствует в каталогах или в эксплуатационной докумен­ тации (руководствах); по этому вопросу см. также стандарты IEC 60034-1 и IEC 60034-17.

Приводы с регулированием скорости должны выбираться и конфигурироваться на основе четкою знания типичных эксплуатационных условий:

* моментов и скоростей, требуемых ведомой машиной:
* зависимости изменения номинальной мощности от выбранною метода воздушного охлаждения (самовентиляция или принудительный обдув).

10

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Для получения набольших выгод важно обеспечить полное соответствие рабочих характеристик регулируемого привода требуемому профилю нагрузки и электрическим характеристикам применяемо­ го двигателя.

* 1. Двигатели с номинальной частотой 50 и 60 Гц

Так как способы использования двигателей и их размерные характеристики фактически имеют отношение к развиваемому моменту, а не к мощности, теоретическая выходная мощность возрастает в линейной зависимости от скорости вращения, т. е. при переходе от частоты 50 Гц к частоте 60 Гц увеличивается на 20 %.

Потери мощности в обмотках (l2R) играют доминирующую роль, особенно в асинхронных двигате­ лях малых и средних размеров. Эти потери в основном постоянны как при частоте 50 Гц. так и при ча­ стоте 60 Гц. пока остается неизменным крутящий момент. Несмотря на то что сопротивление воздуха, трение и потери в железе возрастают с увеличением частоты, эти потери, как правило, минимальны в двигателях с четырьмя и более полюсами; поэтому при частоте 60 Гц суммарные потери по сравнению с частотой 50 Гц возрастают на величину меньше 20 % выходной мощности. Следовательно, в относи­ тельном исчислении (выходной мощности в сравнении с потребляемой) энергоэффективность улучша­ ется. Все сказанное отображено ниже в табличной форме (см. таблицу 2).

Таблица 2 — Пример расчета КПД двигателя при частотах 50 и 60 Гц и одинаковом крутящем моменте с ис­ пользованием в качестве базовой номинальной частоты 50 Гц

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | SO Гц | 60 Гц |
| Крутящий момент | 100% | 100% |
| Скорость вращения | 100% | 120% |
| Выходная мощность | 100% | 120% |
| Потери в процентах от выходной мощности: |  |  |
| потери l2R | 20% | 20% |
| потери из-за трения и сопротивле­ ния воздуха | 4% | 4-(1.2)\*- в «5.25%  |
| потери в железе | 4% | 4(1.2) ,б = 5,25% |
| Суммарные потери | 28% | 30.5% |
| Входная мощность | 100 + 28 = 128%  | 120 + 30.5=150.5% |
| Коэффициент полезного действия | 100/128 = 78.1 % | 120/150.5 = 79.7% |

На практике обозначения 60 и 50 Гц в характеристиках выходной мощности соответствуют ее стан­ дартным уровням согласно IEC 60072. Следовательно, увеличенное номинальное значение мощности двигателя на 20 % не всегда возможно. Тем не менее предпочтительное применение таких двигателей имеет место, если конструкция двигателя оптимизирована именно в расчете на частоту питающего на­ пряжения 60 Гц. а не просто таким образом обозначается номинальная характеристика двигателя.

Когда двигатель рассчитан на рабочую частоту 50 или 60 Гц. в обоих случаях примерно с одним и тем же магнитным потоком и почти одинаковым крутящим моментом (т. е. с выходной мощностью при

60 герцах на 20 % больше, чем при частоте 50 Гц). его КПД при частоте 60 Гц обычно оказывается боль­

ше (см. рисунок 5). и номинальные характеристики могут записываться, например, так: 400 В / 50 Гц / 3.0 кВт и 460 В / 60 Гц / 3.7 кВт).

Альтернативная ситуация — когда двигатель рассчитан на рабочую частоту 50 или 60 Гц. в обо­ их случаях примерно с одним и тем же магнитным потоком и с одинаковой выходной мощностью (т. е. с крутящим моментом при 60 Гц на 20 % меньше, чем при частоте 50 Гц). его КПД при частоте 60 Гц всегда оказывается больше (см. рисунок 6) благодаря снижению потребляемой двигателем мощ­ ности. и номинальные характеристики могут записываться, например, так: 400 В / 50 Гц / 5.5 кВт и 460 8/60 Гц/5,5 кВт).

11

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

КПД при чвстоте 60 Гц

ТО 75 80 85 90 96 100



Рисунок 5 — Типичное снижение энергоэффеюивности в процентных пунктах применительно

к 4-полюсным низковольтным двигателям в диапазоне от 50 до 60 Гц при одном и том же крутящем моменте (в случае частоты 60 Гц мощность возрастает на 20 %)

КПД при частоте 60 Гц

Рисунок 6 — Типичное снижение энергоэффективное™ в процентных пунктах применительно

к 4-полюсным низковольтным двигателям в диапазоне от 50 до 60 Гц при одной и той же выходной мощности (в случае частоты 60 Гц крутящий момент уменьшается на 20 %)

По указанным выше причинам представленные в IEC 60034-30 ограничительные кривые для раз­ личных классов энергоэффективное™ (IE1. IE2. IE3) двигателей с частотой 60 Гц обычно располагают­ ся выше аналогичных кривых для двигателей с частотой 50 Гц.

* 1. Двигатели, рассчитанные на разные номинальные напряжения или на диапазон напряжений

Внутренней характеристикой двигателей является изменение КПД в зависимости от напряжения. Работа двигателя при напряжениях, существенно отличающихся от его номинального напряжения, бу­ дет приводить к изменению его КПД и чрезмерному нагреву.

Как правило. КПД небольших двигателей больше страдает от колебаний напряжения, чем КПД крупногабаритных двигателей.

* 1. Двигатели, рассчитанные на работу при частотах, отличных от 50/60 Гц Такие двигатели не классифицируются по энергоэффективности в (ЕС 60034-30.

Единственный класс, применимый к двигателям с рабочей частотой, отличающейся от 50/60 Гц. это класс IE4. определенный в приложении А настоящего документа.

* 1. Энергоэффективность частотного преобразователя с регулируемой частотой

Частотные преобразователи обычно обладают высоким уровнем энергоэффективности — в от­ личие от двигателей, энергоэффективность которых падает при неполной нагрузке (см. рисунок 7).

12

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

КПД преобразователя. К

* скорость 1СО Ч, момент 100 % (нагрузке 100 Ч);
* скорость 754. момент 56 % (нагрузка 424}.
* скорость 50%. момент 25 4 (нагрузка 134}

Рисунок 7 — Типичные характеристики энергоэффективное™ двухзвенных преобразователей трехфазного напряжения с пассивным препроцессором

для типичных уровней нагрузки насосных агрегатов, вентиляторов и компрессоров

КПД преобразователя. %

* + скорость 100 4. момент 75 % (нагрузка 75 4);
	+ скорость 75 %. момент 75 % (нагрузка 56 4}:
	+ скорость 50 %. момент 75 4 (нагрузка 38 Ч):
	+ скорость 25 %. момент 75 4 (нагрузка 19 4}

Рисунок 8 — Типичные характеристики энергоэффективности деухэвенных преобразователей трехфазного напряжения с пассивным препроцессором

для ттетичных уровней нагрузки при постоянном крутящем моменте

13

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

В таблице 3 показаны компоненты потерь е частотном преобразователе для наиболее популяр­ ного типа промышленных частотных преобразователей (низковольтных двухзвенных преобразователей напряжения с неуправляемыми трехфазными диодными выпрямителями на стороне сети) с выходной мощностью в диапазоне от 1 до 100 кВт.

Таблица 3 — Распределение потерь в низковольтных преобразователях типа U

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Компоненты потерь | Типичный процент потерь о преобразо­ вателях с пассивным препроцессором | Факторы, влияющие на эти потери |
| Коммутационные потери (в выходном звене) | от 30 ДО 50 | Ток двигателя и переключение ча­ стоты |
| Потери в сетевом выпрямителе | от 20 до 25 | Фазный ток (почти пропорцио­ нальный мощности двигателя) |
| Прямые потери (выходного звена) | от 15 до 20 | Ток двигателя |
| Потери во внутренних цепях управления (в микро­ контроллере. внутреннем источнике питания, дис­ плее. клавиатуре, на шине связи, в цифровых и аналоговых каналах ввода-вывода и др.) | от 5 до 20 | Примерно постоянны |
| Потери на переключение (в преобразователе на стороне сети и только в активном препроцессоре) |  | Частота переключений фазного тока (почти пропорционального мощности двигателя) |
| Комплексные потери (в преобразователе на сторо­ не сети и только в активном препроцессоре) | — | Фазный ток (почти пропорцио­ нальный мощности двигателя) |

Уменьшение КПД преобразователя способно привести к понижению выходного напряжения, по­ даваемого на двигатель, что. в свою очередь, может воспрепятствовать достижению двигателем мак­ симальной скорости и/или потребовать ослабления поля возбуждения, в результате чего уменьшится КПД двигателя.

* 1. Козффициент мощности частотного преобразователя

Коэффициент мощности преобразователей со звеном постоянного тока зависит только от кон­ струкции их входного выпрямителя. Конструкция двигателя и его нагрузка никакого влияния на коэффи­ циент мощности преобразователя не оказывают.

Из-за наличия гармоник входного тока частотных преобразователей подлежит анализу общий ко­ эффициент мощности */.:*

*коэффициент мощности Л ш* |активная мощность Р|

##### *кажущаяся мощность S*

Этот коэффициент мощности может регулироваться вблизи значения, равного единице, посред­ ством использования частотного преобразователя, оснащенного автономным активным преобразова­ телем на стороне сети (с активным препроцессором).

Применительно к наиболее распространенным типам преобразователей для низковольтных дви­ гателей можно привести следующие примеры такой регулировки (двухэвенного преобразователя типа

14

|  |  |
| --- | --- |
|  | ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015 |
| источника напряжения с неуправляемым однофазным либо | трехфазным | диодным выпрямителем в ка­ |
| честве преобразователя на стороне сети): |  |  |
| * 1-фазный преобразователь:
* 3-фаэный преобразователь:
* 3-фазный преобразователь с линейным дросселем:
 |  | *X* =0.58 (для *PN* \*0,5 кВт) *X* = 0,64 (для *PN а* 2 кВт) *X а* 0,92 (для *PN а 2* кВт) |
| * 3-фаэный преобразователь с экономичным эвеном
 |  |  |
| постоянного тока (в виде конденсатора небольшой емкости): |  | i =0.94 (для *PN \** 1...10 кВт) |

Поскольку частотные преобразователи улучшают коэффициент мощности только на стороне сети, для получения наибольшей энергоэффективности следует установить преобразователь как можно бли­ же к двигателю (произведя децентрализованную установку).

## Рабочие условия

* 1. Пусковые характеристики

Экономичные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором обычно изготовляются из бо­ лее активного электротехнического материала, т. е. имеют большую длину и/или больший диаметр сердечника для обеспечения более высокого КПД. По этим причинам пусковые характеристики энер­ госберегающих двигателей отличаются от аналогичных характеристик двигателей с более низкой энер- гоэффективностью.

8 среднем ток заторможенного ротора при неизменной выходной мощности увеличивается на 10—15 % при переходе от предыдущего класса энергоэффективности к последующему. Эти индиви­ дуальные различия определяются принципами конструирования двигателя и подлежат контролю по данным изготовителя при замене двигателей в действующих производственных установках. Двигатели с ротором из меди, как правило, характеризуются током большей величины, чем у двигателей с алюми­ ниевым ротором. Необходимо гарантировать, что защитно-контрольное устройство имеет надлежащие размеры и настроено должным образом. См. также IEC 60034-12.

Как правило, усредненный минимальный крутящий момент (см. IEC 60034\*12) энергоэффективно­ го двигателя тоже возрастает примерно на 10—20 % при переходе от класса к классу при неизменной номинальной выходной мощности.

Двигатели с ротором из меди, как правило, имеют меньший минимальный пусковой момент, чем двигатели с алюминиевым ротором.

Изготовитель обязан гарантировать конкретными проектными решениями пусковые характери­

стики двигателя, определенные в IEC 60034-12 (для типового исполнения N).

* 1. Рабочая скорость и скольжение ротора

Обычно двигатели с более высоким КПД имеют и большую рабочую скорость вращения, т. е. ха­ рактеризуются пониженным скольжением по сравнению с двигателями, обладающими меньшим КПД. В среднем при неизменной выходной мощности двигателей переход к вышестоящему классу энергоэф­ фективности означает сокращение показателя скольжения на 26—30 %.

Двигатели с ротором из меди, как правило, имеют меньшее скольжение и более высокую скорость вращения по сравнению с двигателями с алюминиевым ротором.

* 1. Влияние качества электроэнергии и колебаний напряжения и частоты

Работа двигателя за пределами номинальных значений напряжения и частоты может ухудшить ею КПД и коэффициент мощности, а также отрицательно сказаться на других рабочих характеристиках. Это же можно сказать и о работе двигателя под напряжением, форма которого отличается от синусо­ идальной. Степень влияния колебаний величины питающего напряжения, его формы или частоты на КПД и коэффициент мощности двигателя зависит от его конструктивного исполнения (см. рисунок 9).

15

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Мощность Р

Ток *I*

Скорость л

#### ооз ч>

КПДп

I-------------- 1------------- 1----------- 1----------------1----------- 1 1----

85 90 95 100 105 110 115%

Напряжение *U*

Рисунок 9 — Типичные колебания тока, скорости вращения, коэффициента мощности и КПД в зависимости от изменения напряжения при постоянной выходной мощности

Допустимые колебания напряжения и частоты в нормальном режиме работы двигателя см. в IEC 60034-1.

* 1. Эффект асимметрии напряжений

Для эффективной работы всей системы в целом крайне важна сбалансированность напряжений трехфаэного источника, питающего двигатель. Так. например, дисбаланс напряжений в 3.5 % способен привести к росту потерь в двигателе примерно на 20 %. Поэтому однофазные нагрузки, отбираемые у трехфазного источника питания, подлежат тщательному распределению, чтобы асимметрия напряже­ ний на зажимах двигателя была как можно меньшей. Более подробная информация по этим вопросам содержится в IEC 60034-26.

Номинальная величина КПД двигателя всегда дается применительно к температуре окружающей среды 25 \*С (см. IEC 60034-2-1). Работа при более низких температурах будет приводить к повышению КПД. тогда как при более высоких температурах КПД будет понижаться.

## Области применения

* 1. Общие положения

Выработка механической энергии стандартными двигателями в расчете на единицу объема не ох­ ватывается международной стандартизацией. Однако существуют широко признанные региональные стандарты (например. EN 50347 и NEMA MG1). Поэтому для внедрения стандартных электродвига­ телей в существующие приложения было бы выгодно иметь энергоэффективные двигатели одинако­ вой выходной мощности, с одинаковыми рамами, которые не требовали бы коренного переоснащения управляемого оборудования.

16

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

1. тех случаях, когда механизм, ведомый электродвигателем, непрерывно производит относитель­ но постоянный объем полезной работы, главным критерием выбора подходящего двигателя является его экономичность при номинальной нагрузке. Однако большинство применений двигателей имеет ци­ клический характер, и в таких условиях могут использоваться специализированные прикладные мето­ ды для получения существенной экономии энергии.

Есть и такие применения, в которых требуется прерывистое или непрерывное потребление энер­ гии. Для таких ситуаций существуют прикладные методы восстановления значительной части потре­ бленной энергии, которая в противном случае могла бы быть просто потерянной.

Далее приводится несколько примеров, иллюстрирующих технологию энергосбережения, доступ­ ную для пользователей. В этом плане для выбора наиболее эффективного технического решения сле­ дует консультироваться с изготовителями конкретных двигателей.

* 1. Экономия энергии посредством использования двигателей с регулируемой скоростью вращения

во многих приложениях возможно достичь огромной экономии энергетических затрат за счет ре­ гулирования скорости двигателя соответственно реальным энергетическим потребностям нагрузки кон­ кретного приложения. Это обычно помогают сделать двигатели с регулируемой скоростью. Возникаю­ щие в данном случае добавочные потери в частотном преобразователе могут легко компенсироваться повышением общего КПД прикладной системы.

Многие насосные и вентиляционные установки в настоящее время требуют регулирования по­ тока или давления с помощью дроссельных заслонок или перепускных клапанов, которые фактиче­ ски представляют собой последовательные и параллельные органы управления, выполняющие свою функцию регулирования путем рассеяния избытка энергии источника, превышающей потребности стока.

Потери такого рода могут быть существенно сокращены в результате установления контроля рас­ хода или давления посредством надлежащей настройки скорости насосного агрегата или вентилятора с помощью привода с регулируемой скоростью.

* 1. Правильный выбор нагрузочного режима

Энергосберегающие двигатели особенно полезны в тех сферах применения, где они длительное время работают под нагрузкой, составляющей больше 3/4 от ее полной величины.

Во избежание излишне большого числа часов работы двигателя с нагрузкой менее 50 % (что всегда приводит к понижению его КПД) используемую систему следует настраивать по требуемым зна­ чениям пиковой нагрузки и пускового момента.

Когда двигатели, обладающие повышенной энергоэффективностью, используются в условиях температуры ниже установленного для них номинального значения, их перегрузочная способность в сравнении со стандартными двигателями, как правило, оказывается выше. В таких условиях их перена­ стройка на пиковые значения потребляемой мощности требуется редко и потому неэффективна.

Когда встает вопрос о замене е действующий системе стандартного двигателя более экономич­ ным. необходимо прежде всего правильно оценить реальные энергетические потребности и опреде­ лить целесообразные настройки нового двигателя.

* 1. Работа в непрерывном режиме

Экономия энергии при переходе к более высокому классу энергоэффективности двигателей со­ ставляет от 15 до 20 % и достигается за счет сокращения энергетических потерь (см. рисунок 10). Оку­ паемость дополнительных затрат по приобретению двигателей высокого или сверхвысокого класса энергоэффективности может быть легко рассчитана на основе рассмотрения общего КПД нового эко­ номичного двигателя и стоимости потребляемой им энергии.

Приведенный ниже рисунок 10 иллюстрирует достигаемую экономию е процентах от энергии, по­ требляемой двигателем конкретной номинальной выходной мощности, относящимся к более высокому классу IE, по сравнению с заменяемым двигателем.

17

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Потребление запасенной энергии при частоте 50 кГц.

% подводимой энергии

#### 20

18

16

14

**12**

10

8

6

4

2

0

0.1

с1Е1 до IE2. С1Е1Д01ЕЗ

10 100 1000

Номинальная мощность двигателя. кВт

Рисунок 10 — Возможная экономия энергии за счет повышения класса энергоэффективности двигателей. работающих с номинальной нагрузкой

* 1. Сферы применения с длительными периодами легкой нагрузки двигателя

Предложен целый ряд методов и средств понижения рабочего напряжения двигателей в ответ на тот или иной уровень их нагрузки; цель этих методов состоит в том, чтобы сократить потери на намаг­ ничивание в те периоды, когда полная нагрузочная способность двигателя не требуется. Типичным при­ мером таких средств является регулятор коэффициента мощности, который настраивает прикладывае­ мое к двигателю напряжение так. чтобы коэффициент мощности находился вблизи заданного значения.

Регуляторы коэффициента мощности могут принести выгоду, например, при управлении двига­ телями номинальной мощностью меньше 3 кВт. когда они на протяжении длительных периодов несут небольшую нагрузку, при которой потери на намагничивание составляют довольно существенную долю суммарных потерь. Применение таких регуляторов требует определенной осторожности, поскольку экономия энергии достигается лишь в том случае, если двигатель работает с малой нагрузкой в тече­ ние длительных периодов времени.

Особая осторожность нужна тогда, когда рассматриваются двигатели номинальной мощностью больше 3 кВт. Дело в том. что. например, для типичного двигателя мощностью 7.5 кВт характерны потери холостого хода порядка *4*—5 % номинальной выходной мощности. В этом случае величина по­ терь на намагничивание, устраняемых с помощью регулятора, может оказаться несравнимой с гораздо большими добавочными потерями от искажения формы напряжения, вносимого регулятором коэффи­ циента мощности.

* 1. Сферы применения с управляемыми нагрузками

Управляемые нагрузки двигателей обычно приводят к непроизводительному расходу энергии и являются результатом диссипативного характера используемых сил торможения. Примерами таких применений могут служить: операции сбрасывания высокоинерционных нагрузок, стенды для провер­

18

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

ки поглощающей способности, размоточные стенды, процессы ткацкого производства и нисходящие конвейеры. Во всех этих областях энергия может экономиться с помощью регенеративных устройств.

* 1. Сферы применения, в которых момент нагрузки возрастает с увеличением скорости (насосы, вентиляторы, компрессоры и др.)

Крутящий момент. Н-м

Скорость вращения, об/мгн

-------------- Е1.

-------------- Е2.

— ведрат нагрузки

Рисунок 11 — Типичные кривые зависимости крутящего момента от скорости

для трехфазных четырехполюсных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором мощностью 11 кВт. и кривые зависимости нагрузки от скорости при нагрузках, пропорциональных квадрату скорости

Как правило, высокоэффективные асинхронные двигатели с замкнутым ротором имеют неболь­ шое скольжение (см. таблицу 4). т. е. обладают более высокой скоростью вращения, чем двигатели более низкого класса энергоэффективности. Когда крутящий момент двигателя используемой систе­ мы является функцией квадрата скорости (как в насосах, вентиляторах, компрессорах и т.л.). воз­ растание скорости будет приводить к увеличению выходной мощности (момента), что в некоторых ситуациях нейтрализует выгоды, получаемые от повышения класса энергоэффективности двигателя (см. рисунок 11).

Таблица 4 — Пример изменения КПД. скорости и требуемого крутящего момента в соответствии с классом энергоэффекгивиости трех двигателей 11 кВт. 50 Гц из одной и той же прикладной системы

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс | кпд | О | *7* | кВт | кВт |
| *%* | обГмии | Нм |
| IE1 | 87.6 | 1464 | 75.4 | 11.559 | 13.195 |
| IE2 | 89.8 | 1474 | 76.4 | 11.792 | 13.131 |
| 1ЕЗ | 91.4 | 1480 | 77.1 | 11.948 | 13.073 |

19

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Из этой таблицы следует, что е таких приложениях, где двигатель более низкого класса энергоэф­ фективности заменяется двигателем более высокого класса, входная мощность не должна уменьшать­ ся до уровня, который кажется допустимым при сравнении КПД обоих двигателей.

В некоторых случаях необходимая входная мощность для более эффективного двигателя может даже увеличиться по сравнению с двигателем более низкой эффективности.

* 1. Сферы применения, е которых осуществляются частые пуски и остановы двигателей и/или механическое торможение

Конструкции энергоэффективных двигателей обычно позволяют сокращать потери в обмотках (i2R) путем уменьшения коэффициента использования (за счет завышения необходимых размеров дви­ гателя) и/или за счет использования в роторе электропроводящего материала с лучшими магнитными свойствами (например, литой медной вместо литой алюминиевой короткозамкнутой обмотки).

Однако в обоих случаях автоматически возрастает инерция ротора более эффективного двигате­ ля по сравнению с двигателями той же номинальной выходной мощности, но меньшей энергоэффек­ тивности.

В тех приложениях, где требуются частые пуски и остановы двигателей, возрастающая инерция ротора будет увеличивать время их прогрева и потребляемую мощность. Будет также сокращаться до­ пустимое число пусков в час. что может привести к ограничению пропускной способности соответству­ ющей прикладной системы.

Кроме того, при выполнении торможения с использованием механической тормозной системы у двигателей с большей инерцией ротора будет увеличиваться как износ тормозного диска, так и время торможения.

Потери на прогрев двигателя могут быть существенно уменьшены, а допустимое число пусков в час увеличено при использовании для пуска частотного преобразователя вместо осуществления не­ посредственного запуска двигателя. Однако в целом невыгодность применения энергоэффективных двигателей в рассматриваемой области остается очевидной.

Примечание — Использование безударного пускателя способно обеспечить необходимые для прогрева величины моментов, но не приводит ни к сокращению потерь мощности, ни к улучшению КПД двигателя.

* 1. Применения во взрывоопасной газовой среде и в среде горючей пыли

Существует целый ряд проектных ограничений, касающихся двигателей для работы во взрыво­ опасной газовой среде и в запыленной атмосфере.

Двигатели с огнестойкими кожухами (тип защиты «б» — согласно IEC 60079-1) или с защитой типа

\*п» (в соответствии с IEC 60079-15) обычно считаются взрывобезопасными.

Двигатели повышенной безопасности (с защитой типа не» — согласно IEC 60079-7) могут подвер­

гаться ограничениям на время ?Е. величину воздушных зазоров, пусковой ток и др. Классификация их уровней энергоэффекгивности и КПД может быть пониженной.

Двигатели, специально предназначенные для работы в атмосфере горючей пыли, защищаются от ее воспламенения кожухом типа «I» или «10» (согласно IEC 60079-31 или IEC 61241-1) и имеют дополнительные уплотнения вала; уровень энергоэффективности этих двигателей может быть по­ ниженным.

## Экономические аспекты

* 1. Пользовательские затраты

Пользователь всегда хочет иметь надежную систему двигателей по разумной цене. Однако ис­ ходная стоимость приобретения электродвигателя невелика в сравнении с расходами на его эксплуата­ цию. которые обычно составляют более 90 % совокупной стоимости владения (см. рисунок 12).

Двигатели более высокого класса энергоэффективности стоят дороже по причинам более высоко­ го качества изготовления и использования дополнительных материалов. Прибавка стоимости зависит от производительности двигателя и от его типа. Между классами энергоэффективности IE1 и IE2 прирост стоимости составляет от 10 до 15%; между классами IE2 и IE3 добавляются еще 10—15% за добавочный объем требуемых электротехнических материалов (стали, меди). Кроме того, могут оказаться необходи­ мыми материалы более высокого качества. С учетом всего этого прирост стоимости может составить от

20

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

10 до 30 % в каждом класса энвргоэффекги&ности. При сравнении двигателей по энергоэффективности должен приниматься в расчет не только их КПД. но и соответствующий коэффициент мощности.



Примечание — Источник EuPLot 11.2008, см. библиографию.

Рисунок 12 — Структура затрат на электродвигатель класса энвргоэффвктивности 1ЕЗ мощностью 11 кВт. со сроком службы 15 лет, эксплуатируемый при полной нагрузке 4000 часов в год

Как е случае замены старых, так и лри установке новых двигателей, пользователи сталкиваются со сложной задачей правильного выбора, поскольку им приходится принимать во внимание не толь­ ко первоначальную стоимость приобретения двигателей, но и будущие эксплуатационные расходы по множеству вариантов проектных решений; а в случае замены эксплуатируемых двигателей подлежит оценке еще и вариант их ремонта.

Для определения экономической целесообразности установки энергоэффективных двигателей необ­ ходимо также оценить ожидаемую общую экономию энергии в годовом исчислении, отнесенную к дополни­ тельным затратам на их приобретение, по сравнению с уже используемыми или стандартными двигателями.

Эта задача обычно решается двумя методами:

* простым расчетом окупаемости затрат и
* определением суммарных затрат за весь срок службы.
	1. Исходная стоимость приобретения

Исходная стоимость приобретения складывается из расходов по планированию и установке и про­ дажной цены двигателя и дополнительного оборудования, такого как приводы с регулируемой скоростью.

Сравнительный анализ требует определения по каждому решению соответствующей базы для сравнения. В тех странах, где приняты минимальные энергетические нормы MEPS (Minimum Energy Performance Standards), таким эталоном является двигатель соответствующею класса энергоэффектив­ ности; если такие обязательные нормы в стране отсутствуют, то чаще всею в качестве базы для сравне­ ния используется стандартный двигатель в определенном секторе рынка. После этою должен быть опре­ делен проектный вариант двигателя с более высокой энергоэффективностью — вплоть до уровня IE3.

К проектным затратам должна быть добавлена стоимость приводов с регулируемой скоростью, если они считаются применимыми и целесообразными в конкретных типах машин или рабочих операций.

8 случае замены двигателя по причине отказа ею стоимость е расчет не принимается, а при пре­

ждевременной замене к стоимости приобретения новою двигателя может быть добавлена остаточная стоимость потерянною рабочего времени старого двигателя.

* 1. Эксплуатационные расходы

Эксплуатационные расходы складываются из стоимости электроэнергии, расходов по техническо­ му обслуживанию и затрат на ремонт.

Прогнозируемый объем потребления энергии рассчитывается с учетом трех элементов:

. среднегодового коэффициента нагрузки (см. пример на рисунке 13);

* КПД двигателя при данном усредненном коэффициенте нагрузки и
* числа рабочих часов в году.

21

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Для двигателей с постоянной скоростью эти элементы могут быть легко оценены с достаточной точностью. Применительно к системам двигателей с переменной нагрузкой и возможному в конечном итоге использованию приводов с регулируемой скоростью расчеты среднего коэффициента нагрузки, соответствующего числа рабочих часов и КПД двигателя в сочетании с приводом с переменной скоро­ стью вращения должны основываться на типовом графике электрических нагрузок. Если подходящий профиль измеренных нагрузок действующих систем отсутствует, то может использоваться гипотетиче­ ский усредненный профиль (пример которого показан ниже на рисунке 13).

Процентная доля от полной нагрузки, %

Число рабочих дней а году Рисунок 13 — Пример графика коэффициента нагрузки: процентное распределение рабочих часов за год

Эксплуатационные затраты на электроэнергию обычно состоят из трех элементов тарифного со­ глашения или договора на поставку с местной коммунальной службой:

* стоимости киловатт-часа потребляемой энергии (с учетом дневного, ночного, сезонного и друго­

го разделения тарифов):

* оплачиваемой пиковой мощности (кВт) применитепьно к рекордным 15-минутным пикам;
* стоимости нескорректированного коэффициента мощности (кВА).

Должны учитываться местные колебания вышеуказанных элементов стоимости электроэнергии и их структуры, равно как и действующие скидки, налоги и возможные всплески цен на протяжении прогно­ зируемого технического срока службы (с учетом ремонтов) двигателя или прикладной системы, к которой он относится. — в зависимости от того, какой срок службы больше. Фиксированные элементы тарифов во внимание не принимаются, так как они не изменяются с улучшением показателей энергоэффективности.

К затратам на электроэнергию добавляются расходы по техническому обслуживанию и ремонту, величина которых должна оцениваться на основе практического опыта предприятия в части стоимости одного нормо-часа обслуживания двигателей с разной выходной мощностью, скоростью вращения и среднегодовой наработкой в часах.

При анализе затрат на протяжении всего срока службы должны оцениваться также эксплуатаци­ онные расходы. Если накопленные практические данные предприятия по парку двигателей отсутствуют, то можно воспользоваться информацией по усредненным срокам службы, представленной в таблице 5.

Таблица 5 — Средние сроки службы электродвигателей

|  |  |
| --- | --- |
| Показатель | Номинальная выходная мощность двигателя. Лг |
| 0.76—1.1 | 1.1—11 | 11-110 | 110-370 |
| Средний срок службы (е годах) | 10 | 12 | 15 | 20 |

22

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Реальный срок службы зависит от годовой наработки двигателя, продолжительности включения, коэффициента нагрузки, показателей надежности двигателя, качества техническою обслуживания и качества ремонтов. Поскольку эксплуатационные расходы, в особенности стоимость электроэнергии, безусловно, являются доминирующим элементом калькуляции затрат, они подлежат проверке методом анализа чувствительности. Для этого один или несколько элементов эксплуатационных расходов под­ вергаются изменениям с целью установления степени устойчивости результатов анализа. Устойчивый результат говорит о том. что порядок следования разных сравниваемых вариантов срока окупаемости затрат или объема затрат в течение срока эксплуатации остается неизменным. Часто наиболее критич­ ным элементом анализа является годовая наработка двигателя в разных нагрузочных режимах, поэто­ му именно она должна быть изменяемым элементом.

* 1. Стоимость перемотки двигателя

Помимо исходной стоимости приобретения и эксплуатационных расходов при выработке решения относительно замены двигателей принимается во внимание стоимость ремонта отказавших двигателей.

Когда двигатель отказал или сгорел, должны рассматриваться следующие варианты дальнейших

действий:

1. перемотка отказавшего двигателя;
2. приобретение нового стандартного двигателя:
3. приобретение нового энергоэффективного двигателя.

Если отказавший двигатель может быть перемотан, то самые низкие исходные затраты будут в случае его перемотки в соответствии с прежними техническими условиями. Однако, как показывает практика перемотки двигателей в разных моточных цехах (например, использующих такие температу­ ры разогрева удаляемых обмоток, которые способны изменить свойства стальных пластин, или новый медный провод, способный изменить потери в меди статора), после перемотки КПД двигателя может снизиться на 1—2.5 процентных пункта.

Это значит, что должно быть проведено сравнение вариантов с целью выбора между перемот­ кой двигателя (стоимость перемотки плюс более высокие эксплуатационные расходы из-за понижен­ ного КПД) и покупкой нового экономичного (энергоэффективного) двигателя (по повышенной цене, но с меньшими эксплуатационными затратами благодаря повышенному КПД). Для более точного расчета должны быть приняты во внимание также коэффициент нагрузки, годовая наработка и стоимость по­ требляемой электроэнергии.

* 1. Срок окупаемости затрат

Простой метод расчета окупаемости затрат состоит в том, что определяются дополнительные капиталовложения в приобретение двигателей более высокого класса энергоэффективкости (и. воз­ можно. приводов с регулируемой скоростью, а также другого усовершенствованного оборудования) и сопоставляются с ожидаемыми более низкими эксплуатационными затратами.

Для этого пользователю должны быть известны следующие элементы:

* закупочная цена двигателей разных классов энергоэффективности и различных приводов с ре­ гулируемой скоростью — в соответствии с вариантами проектных решений;
* ежегодная наработка часов:
* стоимость электроэнергии;
* схемы уменьшения налоговых ставок:
* скидки, предоставляемые коммунальными предприятиями.

Имея эту информацию, пользователь может рассчитать эксплуатационные затраты и сравнить вре­ мя их окупаемости по разным вариантам проектных решений. Для периодов окупаемости до одного года обычно не требуется принимать во внимание влияние инфляции, техническое обслуживание, трудозатраты и повышение тарифов на электроэнергию. Однако при сроке окупаемости больше одного года ничем этим пренебрегать нельзя, и пользователь может выбрать решение с самым коротким сроком окупаемости.

Пользователь может также предварительно определить максимально допустимый срок окупае­ мости затрат для своего предприятия, который обычно лежит в диапазоне от двух до пяти лет. Этот период существенно короче ожидаемого срока службы системы, для которой выбираются двигатели, и по прошествии короткого срока окупаемости двигатель будет продолжать работу до истечения его технического срока службы, не требуя дополнительных капиталовложений. В этой фазе двигатель при­ носит доход «бесплатно».

23

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

* 1. Затраты в течение всего жизненного цикла

При анализе затрат в течение всего жизненного цикла двигателя производится суммирование расходов по всем составляющим элементам в трех фазах реализации различных вариантов проектных решений в сравнении с базовым:

* в фазе первичного приобретения (или ремонта) — затраты по планированию и установке:
* в фазе использования — эксплуатационные расходы (на электроэнергию, техническое обслу­ живание и ремонт);
* в заключительной фазе — затраты по выводу из эксплуатации и утилизации.

Для точного экономического расчета должен быть проведен анализ движения денежных пото­ ков с соответствующим дисконтированием доходов и расходов с учетом процентных ставок и темпов инфляции. Пользователь должен знать закупочные цены двигателей разных классов энергоэффек­ тивности и приводов с регулируемой скоростью, годовую наработку двигателя в часах, стоимость электроэнергии, а также ожидаемое время жизненного цикла и затраты по техническому обслужива­ нию и ремонту.

Затраты в конце жизненного цикла обычно игнорируются в расчетах, поскольку денежные по­ ступления от утилизации материала двигателя идут на покрытие затрат по его демонтажу и транс­ портировке.

Пользователь может выбрать для реализации вариант проектного решения с наименьшим объ­ емом затрат в течение жизненного цикла, и этот критерий выбора — лучший для пользователя. 8 круп­ номасштабных проектах, которые требуют больших капиталовложений, анализ затрат в течение жиз­ ненного цикла помогает выбирать оптимальные проектные решения.

Недавние европейские исследования ЕиР 2008 (их результаты отражены на рисунке 14) подтвер­ дили тот факт, что новые двигатели класса энергоэффективности IE3 мощностью в диапазоне между

* 1. и 110 кВт. нарабатывающие более 2000 часов в год. характеризуются меньшими затратами в тече­

ние срока службы, чем двигатели класса IE1 или IE2.

Затраты • течение срока службы евро 70000

во 000

50000

40 000

#### 30000

20000

10 000

0

IE1

□ — 2000 рабочих часов в год;

*В* — 4000 рабочих часов в год:

* + - — 6000 рабочих часов в год,
		- — 8000 рабочих часов а год

Примечание — Источник: EuP Lot 11. 2008(см. библиографию).

Рисунок 14 — Структура эксплуатационных затрат в течение срока службы двигателя мощностью 11 кВт при работе с полной нагрузкой

24

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

В нескольких других исследованиях изучались экологические аспекты применения высокоэффек­ тивных двигателей и приводов с регулируемой скоростью вращения. Дополнительные материалы, ис­ пользуемые при изготовлении электрооборудования с более высокой энергоэффективностью, отража­ ются в их более высокой закупочной иене. Эти исследования подтверждают, что более низкие затраты в течение срока службы двигателей более высокого класса энергоэффективности означают и меньший уровень затрат на решение проблем защиты окружающей среды.

## 9 Техническое обслуживание

Электродвигатели обычно не требуют больших объемов технического обслуживания, вследствие чего о качественном обслуживании иногда вообще забывают. Ниже приведены основные общие дефек­ ты организации технического обслуживания, губительно влияющие на рабочие характеристики двига­ телей:

1. недостаточная вентиляция;
2. повышенные температуры окружающей среды;
3. механическая разрегулировка;
4. неподходящие клиновые приводные ремни;
5. неподходящая смазка: 0 избыточная влажность; д) загрязнение;
6. устойчивая перегрузка;
7. аномальное питающее напряжение;
8. чрезмерная асимметрия напряжений (в системах с однофазной нагрузкой).

Недостаточная вентиляция или повышенные температуры окружающей среды к более высоко­ му сопротивлению обмоток. При переходе от комнатной температуры к своей рабочей температуре двигатель теряет в среднем от 0.2 до одного процентного пункта КПД. Кроме того, чрезмерные повы­ шения температуры, вызванные плохим качеством технического обслуживания или нарушением его норм, сокращают время нормальной эксплуатации двигателя и увеличивают объем потребляемой им электроэнергии.

Иногда в ведомой электрической машине постепенно возникает дополнительная сила трения. Это может быть вызвано накоплением слоя пыли на вентиляторе, износом деталей, разрегулировкой редукторов или приводных ремней или некачественной смазкой двигателя. В таких условиях энергоэф­ фективность электрической машины падает, в результате чего понижается КПД системы и возрастает энергопотребление. Для гарантирования непрерывной эффективной работы и долгой жизни двигателя должен быть установлен четкий регламент планового технического обслуживания двигателей и управ­ ляемого ими оборудования.

25

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Приложение А (справочное)

Сверхвысокий класс энергоэффективности (IE4)

Представленные ниже номинальные границы сверхвысокой энвргоэффективносги даются только в инфор­ мативных цепях. В стандарте IEC 60034-30 термины «сверхвысокая эффективность» и «1Е4» трактуются как обе­ спечение примерно 15-процентного снижения потерь мощности по сравнению с классом IE3. В данном припажении предлагается точное определение этих терминов.

Класс энергоэффективное™ IE4 не ограничивается только трехфаэчыми асинхронными двигателями с коротко- замкнутым ротором, как классы IE1. 1Е2 и IE3 из 1ЕС 60034-30. Класс 1Е4 предназначается для использования в рамках классификации всех типов электродвигателей и особенно машъы с питанием от преобразователей (как асинхронных с короткозамкнутым ротором, так и других типов, подобных синхрожым двигателям с постоянными магнитами).

Поскольку в классе IE4 частота питающей сети и число полюсов электрических машин, питаемых от преобра­ зователя. напрямую не связаны со скоростью вращения двигателей, последние обычно ранжируются по диапазону скоростей и классифицируются скорее по крутящему моменту, чем по мощности. Поэтому границы класса IE4 вы­ деляются по крутящему моменту и даются для дискретных диапазонов скорости вращения. Пример соответствую­ щих кривых энергоэффективности приведен на рисунке А.1.

Примечание 1 — Пользователи должны иметь е виду, что частотные преобразователи тоже характери­ зуются определенной энергоэффектиеностью. которая будет снижать системный КПД (двигателя е сочетании с преобразователем).

Примечание 2 — По вопросам определения КПД двигателей, питаемых от преобразователя, см. IEC 60034-2-3.

Однако ранжирования как двигателей с переменной скоростью во всем диапазоне скоростей вращения от 801 до 3600 об/мин. так и двигателей с постоянным крутящим моментом во всем диапазоне номинальных скоро­ стей вращения не требуется.

Границы номинальных значений сверхвысокого уровня энергоэффективности для номинатъного крутящего момента TN можно рассчитать по следующей формуле:

где А. *В. С, D* — интерполяционные коэффициенты из приведенной ниже таблицы А.1.

Примечание 3 — Данная формула и коэффициенты интерполяции выведены математически путем под­ бора наилучшей кривой, проходящей через точки желаемых границ номинальных значений энергоэффективности: никакого физического смысла за этим не стоит.

Результирующие значения КПД (в процентах) округляются до ближайших десятичных долей, т. е. имеют вид

хх.х %.

Номинальные значения класса энергоэффективности 1Е4 для величин крутящего момента больше 2000 Нм

равны границам для 2000 Нм. Номинальные значения класса энергоэффективности )Е4 для выходных мощностей больше 400 кВт не определяются.

Когда выделяются несколько диапазонов моментов и скоростей, номинальные значения границ энвргоэф­

фективносги в соответствии с настоящим стандартом должны рассчитываться и применяться отдельно для каждой комбинации номинального крутящего момента двигателя и номинальной скорости вращения.

Применительно к двигателям, характеризуемым мощностью PN. а не моментом, для определения Гм должна использоваться следующая формула:

*Ры* 60-1000

Результирующий момент должен округляться до ближайшего значения из ряда предпочтительных чисел R10 (см. ISO 3).

Для обеспечения совместимости справочных данных с односкоросгными 2-. 4- и 6-полюсными двигателями

с питанием от сети служит таблица А.З. е которой осуществляется преобразование значений момента и скорости к стандартным уровням мощности. На этой основе в таблице А.4 приведены границы номинальных значений энерго- эффективности класса IE4 для частоты питающей сети 50 Гц. а е таблице А5 —для частоты 60 Гц.

26

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Таблица А.1 — Интерполяционные коэффициенты

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| !£• код | Коэффициенты | от 601 до 1000 об/минмакс. 2000 Ны | от 1001ао 1200 об/минмакс. 2000 Нм | от 1201до 1S00 об/минмакс. 2000 Ны | от 1501 до 1600 об/минмакс. 2000 Нм | от 1801 до 3000 об/минмакс. 1250 Ны | от 3001 ао 3600 об/минмакс. 1000 Нм |
| IE4 | *А* | 0.2824 | 0,1901 | 0.1846 | 0.1648 | 0.2116 | 0.2227 |
|  | *В* | -3.8439 | - 2.9242 | -2.7433 | -2.4976 | -2.6695 | - 2.7262 |
|  | *С* | 17,4628 | 13.6953 | 12.7473 | 11.6595 | 11.3369 | 11.1625 |
|  | *D* | 70,2209 | 76.1961 | 77.9565 | 79.7787 | 80.8449 | 81.2267 |

Для удобства применения к дискретным уровням момента могут испогъзоваться номинальные границы из таблицы А.2.

Таблица А.2 — Номинально границы (в процентах) для сверхвысокого класса экономичности (IE4)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Нм | от 601 до 1000 об/мин | от 1001до 1200 об/мин | от 1201до 1600 об/мин | от 1501 до 1800 об/мин | от 1601 до 3000 об/мин | от 3001 до 3600 об/мин |
| 2.5 | 76.6 | 81,2 | 82.6 | 84.0 | 84.9 | 85.3 |
| 3.2 | 78.0 | 82.3 | 83.7 | 85.0 | 85.9 | 86.1 |
| 4.0 | 79.4 | 83.4 | 84.7 | 85.9 | 86.7 | 87.0 |
| 5.0 | 80.6 | 84.4 | 85.6 | 86.8 | 87.5 | 87.8 |
| 6.3 | 81.9 | 85.4 | 86.5 | 87.6 | 68.3 | 88.5 |
| 8 | 83.1 | 86.3 | 87.4 | 88.4 | 89.1 | 89.2 |
| 10 | 84.1 | 87.2 | 88.1 | 89.1 | 89.7 | 89.9 |
| 12.5 | 65.1 | 88.0 | 88.9 | 89.8 | 90.3 | 90.5 |
| 16 | 86,2 | 88.8 | 89,7 | 90.5 | 91.0 | 91.1 |
| 20 | 87.1 | 89,5 | 90.3 | 91.1 | 91.5 | 91.6 |
| 25 | 87.9 | 90.1 | 90.9 | 91.6 | 92.1 | 92.1 |
| 32 | 88.7 | 90.8 | 91.5 | 92.2 | 92.5 | 92.6 |
| 40 | 69.5 | 91.4 | 92.1 | 92.7 | 93.0 | 93.0 |
| 50 | 90.2 | 92.0 | 92.6 | 93,2 | 93.4 | 93.4 |
| 63 | 90.8 | 92.5 | 93.1 | 93.6 | 93.8 | 93.8 |
| 80 | 91.5 | 93.0 | 93.6 | 94.1 | 94.2 | 94,1 |
| 100 | 92.0 | 93.4 | 94,0 | 94.4 | 94.5 | 94.4 |
| 125 | 92,5 | 93.8 | 94.3 | 94.8 | 94.8 | 94.7 |
| 160 | 93.1 | 94.2 | 94.7 | 95.1 | 95.1 | 95.0 |
| 200 | 93.5 | 94.5 | 95.0 | 95.4 | 95.4 | 95.2 |
| 250 | 93.9 | 94.8 | 95.3 | 95.6 | 95.6 | 95.4 |
| 315 | 94.3 | 95.1 | 95.6 | 95.9 | 95.8 | 95.6 |
| 400 | 94.6 | 95.4 | 95.8 | 96.1 | 96.0 | 95.7 |

27

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

*Окончание таблицы А.2*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Нм | от 801ао >000 об/мин | от >001 ао Т20О об/мин | от >201 ао 1S00 об/мин | от 1501ао >800 об/мин | от 1801ао 3000 об/мин | от 3001ао 3600 об/мин |
| 500 | 94.9 | 95.6 | 96.0 | 96.3 | 96.2 | 95.9 |
| 630 | 95.2 | 95.8 | 96.2 | 96.5 | 96.3 | 96.0 |
| 800 | 95.4 | 96.0 | 96.4 | 96.6 | 96.4 | 96.1 |
| 1000 | 95.6 | 96.1 | 96.5 | 96.7 | 96.5 | 96.2 |
| 1250 | 95.8 | 96.2 | 96.6 | 96.8 | 96.6 | — |
| 1600 | 96.0 | 96.3 | 96.7 | 96.9 | — | — |
| 2000 | 96.1 | 96.4 | 96.8 | 97.0 | — | — |
| 2500 | 96.1 | 96.4 | 96.8 | — | — | — |
| 3150 | 96.1 | 96.4 | — | — | — | — |
| 4000 | 96.1 | — | — | — | — | — |

Таблица А.З — Стандартные значения мощности в кВт. ассоциируемые с крутящим моментом и скоростью дви­ гателей с питанием от сети

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Тн*Нм | 50 Гц. б-лол. (от 801до 1000 об/мин) | 80 Гц. 8-лол. (от 1001до 1200 об/мин} | 50 Гц. 4-яол. (от 1201до 1500 об/мин} | 80 Гц. 4-лол. (от 1501до 1800 об/мин) | 50 Гц. 2-пол. (от 1801до 3000 об/мин} | 80 Гц. 2-пол. (от 3001до 3800 об/мин) |
| 2.5 | — | — | — | — | 0.75 | — |
| 3.2 | — | — | — | — | — | 1.1 |
| 4.0 | — | — | — | 0.75 | 1.1 | 1.5 |
| 5.0 | — | — | 0.75 | — | 1.5 | — |
| 6.3 | — | 0.75 | — | 1.1 | — | 2.2 |
| 8 | 0.75 | — | 1.1 | 1.5 | 2.2 | — |
| 10 | 1.1 | 1.1 | 1.5 | — | 3 | 3.7 |
| 12.5 | — | 1.5 | — | 2.2 | 4 | — |
| 16 | 1.5 | — | 2.2 | — | — | 5.5 |
| 20 | 2.2 | 2.2 | 3 | 3.7 | 5.5 | 7.5 |
| 25 | — | — | 4 | — | 7.5 | — |
| 32 | 3 | 3.7 | — | 5.5 | — | 11 |
| 40 | 4 | — | 5.5 | 7.5 | 11 | 15 |
| 50 | 5.5 | 5.5 | 7.5 | — | 15 | 18.5 |
| 63 | — | 7.5 | — | 11 | 18.5 | 22 |
| 60 | 7.5 | — | 11 | 15 | 22 | 30 |
| 100 | — | 11 | 15 | 18.5 | 30 | 37 |
| 125 | 11 | 15 | 18.5 | 22 | 37 | 45 |
| 160 | 15 | 18.5 | 22 | 30 | 45 | 55 |
| 200 | 18.5 | 22 | 30 | 37 | 55 | 75 |

28

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

*Окончание таблицы А.З*

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ты*Нм | 50 Гц. 8-пол.{от 001до 1000 об/мин) | 00 Гц, в-пол. (от 1001до 1200 об/мин) | 50 Гц. 4-пол. (от 1201до 1500 об/мин) | 60 Гц. 4-пол. (от 1501до 1800 об/мин) | 50 Гц. 2-пол. (от 1801до 3000 об/мин) | 80 Гц, 2-пол. (от 3001до 3800 об/мин) |
| 250 | 22 | 30 | 37 | 45 | 75 | 90 |
| 315 | 30 | 37 | 45 | 55 | 90 | 110 |
| 400 | 37 | 45 | 55 | 75 | 110/132 | 150 |
| 500 | 45 | 55 | 75 | 90 | 160 | 185 |
| 630 | 55 | 75 | 90 | 110 | 200 | 220 / 250 |
| 800 | 75 | 90 | 110 | 150 | 250 | 300 |
| 1000 | 90/110 | 110 | 132/160 | 185 | 315 | 335/375 |
| 1250 | 132 | 150 | 200 | 220/250 | 355 / 375 | — |
| 1600 | 160 | 185 | 250 | 300 | — | — |
| 2000 | 200 | 220/250 | 315 | 335/375 | — | — |
| 2500 | 250 | 300/335 | 355/375 | — | — | — |
| 3150 | 315 | 375 | — | — | — | — |
| 4000 | 355/375 | — | — | — | — | — |

Таблица А.4 — Границы номинальных значений КПД в сверхвысоком классе экономичности (IE4) для двигате­ лей с питанием от сети с частотой 50 Гц

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *рн*квт | 2-пол юсиый 80 Гц | 4-лолюскый во Гц | в-пол ЮСИЫЙ80 Гц |
| 0.75 | 84.9 | 85.6 | 83.1 |
| 1.1 | 86.7 | 87.4 | 84.1 |
| 1.5 | 87.5 | 88.1 | 86.2 |
| 2.2 | 89.1 | 89.7 | 87.1 |
| 3 | 89.7 | 90.3 | 88.7 |
| 4 | 90.3 | 90.9 | 89.5 |
| 5.5 | 91.5 | 92.1 | 90.2 |
| 7.5 | 92.1 | 92.6 | 91.5 |
| 11 | 93.0 | 93.6 | 92,5 |
| 15 | 93.4 | 94.0 | 93.1 |
| 18.5 | 93.8 | 94.3 | 93.5 |
| 22 | 94.2 | 94.7 | 93.9 |
| 30 | 94.5 | 95.0 | 94.3 |
| 37 | 94.8 | 95.3 | 94.6 |
| 45 | 95.1 | 95.6 | 94.9 |
| 55 | 95.4 | 95.8 | 95,2 |
| 75 | 95.6 | 96.0 | 95.4 |

29

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

*Окончание таблицы А.4*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Г\**кВт | 2-полюсный 60 Гц | 4-пол юсмый вО Гц | 6-лолюсиый во Гц |
| 90 | 95.6 | 96.2 | 95.6 |
| 110 | 96.0 | 96.4 | 95.6 |
| 132 | 96.0 | 96.5 | 95.6 |
| 160 | 96.2 | 96.5 | 96.0 |
| 200 | 96.3 | 96.6 | 96.1 |
| 250 | 96.4 | 96.7 | 96.1 |
| 315 | 96.5 | 96.8 | 96.1 |
| 355 | 96.6 | 96.8 | 96.1 |
| 375 {400} | 96.6 | 96.8 | 96.1 |

Таблица А.5 — Границы номинальных значений КПД в сверхвысоком классе экономичности (IE4) для двигате­ лей с питанием от сети с частотой 60 Гц

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| кВт | 2-лолюсный вО Гц | 4-пол юеиый вО Гц | 6-полюсный во Гц |
| 0.75 | — | 85.9 | 85.4 |
| 1.1 | 66.1 | 87.6 | 87.5а |
| 1.5 | 67.0 | 88.4 | 88,5а |
| 2.2 | 68.5 | 89.8 | 89.5 |
| 3.7 | 69.9 | 91.1 | 90.6 |
| 5.5 | 91.1 | 92.2 | 92.0 |
| 7.5 | 91.6 | 92.7 | 92.5 |
| 11 | 92.6 | 93.6 | 93.4 |
| 15 | 93.0 | 94.1 | 93.6 |
| 18.5 | 93.4 | 94,4 | 94.2 |
| 22 | 93.8 | 94.8 | 94.5 |
| 30 | 94.1 | 95.1 | 94.6 |
| 37 | 94.4 | 95.4 | 95.1 |
| 45 | 94.7 | 95.6 | 95.4 |
| 55 | 95.0 | 95.9 | 95.6 |
| 75 | 95.2 | 96.1 | 95.8 |
| 90 | 95.4 | 96.3 | 96.0 |
| 110 | 95.6 | 96.5 | 96.1 |
| 150 | 95.7 | 96.6 | 96.2 |
| 185 | 95.9 | 96.7 | 96.3 |
| 220 | 96.0 | 96.8 | 96.4 |
| 250 | 96.0 | 96.8 | 96.4 |

30

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

*Окончание таблицы А. 5*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *рн*кВ? | 2-пол юсиый ВО Гц | 4-лолюсный во Гц | в-полюсиый вО Гц |
| 300 | 96.1 | 96.9 | 96,4 |
| 335 | 96.2 | 97.0 | 96.4 |
| 375 | 96.2 | 97,0 | 96.4 |
| \* Из-за наличия разрывов кривых 60 Гд для класса 1ЕЗ 6-лолюсных дви­ гателей с выходной мощностью 1,1; 1,5 и 2.2 кВт kW предельные значения 1Е4, выведенные на основе гладких кривых (табтца А.2), оказываются несколько меньше значений IE3 (87.5% для 1,1 кВт и 88,5% для 1.5 кВт). |

В случав применения значений класса экономичности 1Е4 к двигателям, которые охватываются стандартом IEC 60034-30, необходимо убедиться в том, что требования к уровню экономичности IE3 тоже выполнены.

КПД. %

Рисунок А.1 — Пределы номинальных значений КПД для клаоса IE4 в выбранном диапазоне значений крутящего момента (Нм)

31

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Приложение ДА (справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Обозначение ссылочного международного стандарта | Степень соответствия | Обозначение и наименование межгосударственного стандарта |
| IEC 60034-1 | ЮТ | ГОСТ 1ЕС 60034-1-2014 «Машины электриче­ ские вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные ха­ рактеристики» |
| IEC 60034-30 | — | • |
| ’ Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использо­ вать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени со­ ответствия стандарте»:- ЮТ — идентичные стандарты. |

32

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

Библиография

IEC 60034-2-1:2007 *Rotating electrical machines* — *Part 2-1: Standard methods for determining losses and effi­ ciency from tests (excluding machines for traction vehicles) (Машины электрические вращающиеся. Часть 2-1. Стан­ дартные методы определения потерь и коэффициента полезного* действия *по испытаниям (за исключением машин для тяговых механизмов)!*

IEC 60034-2-3 *Rotating electrical machines* — *Part 2-3: Specific test methods for determining losses and* efficrency *of converter-fed AC induction* motors *(Машины* электрические *вращающиеся.* Часть *2-3. Специальные методы* определения потерь *и коэффициента полезного действия* двигателей *переменного тока с питанием* от *пре­ образователя)*

IEC 60034-12 *Rotating* efeclricaf mac/wnes — *Part 12: Starting* performance of *single-speed three-phase cage induction motors (Машины* электрические *вращающиеся. Часть 12. Пусковые характеристики односкоростных трехфазных двигателей с короткозамкнутым ротором)*

IEC TS 60034-17 *Rotating electrical machines* — *Part 17: Cage induction motors when fed from converters* — *Application guide (Машины электрические вращающиеся. Часть 17. Асинхронные* двигатели с *короткозамкну­ тым ротором при* литании от *преобразователей. Руководство по применению)*

IEC TS 60034-25 *Rotating electrical machines* — *Part 25: AC electrical machines used in power drive systems* — *Application guide (Машины электрические вращающиеся. Часть 25. Руководство по проектным и эксплуата­ ционным характеристикам* двигателей *переменного тока, специально предназначенных для* электропитания через *преобразователь)*

1ЕС 60034-26 *Rotating electrical machines* — *Part 26: Effects of unbalanced voltages on the performance of three- phase cage induction motors (Машины электрические вращающиеся. Часть 26. Влияние несбалансированных на­ пряжений на рабочие характеристики трехфазных асинхронных* двигателей с *короткозамкнутым ротором)*

IEC 60072-1 *Dimensions and output series for rotating electrical machines* — *Part 1:* Frame numbers 56 *to 400*

*and flange* numbers 55 *to 1080 (Машины* электрические *вращающиеся. Часть 1. Размеры* и *ряды выходных мощ­ ностей. Габаритные номера от 56 до 400 и* номера фланцев от 55 до *1080)*

IEC 60079-0 *Explosive atmospheres* — *Part О: Equipment* — *General requirements (Взрывоопасные атмосфе­*

*ры. Часть 0. Оборудование. Основные требования)*

IEC 60300-3-3 *Dependability management* — *Part 3-3: Application guide* — *Life cycle costing (Управление функ­ циональной надежностью. Часть 3-3. Руководство по применению. Исчисление затрат на протяжении жизнен­ ного цикла)*

IEC 61241-1 *Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust* — *Part 1: Protection by enclosures ID'*

*(Аппаратура* электрическая, *используемая e условиях горючей пыли. Часть 1. Защита ограждением типа «Ю» (изъят* из *обращения)]*

IEC61600-2 *Adjustable speed electrical power drive systems—Part 2: General requirements—Rating specifications for low voltage adpstable frequency a.c. power drive systems (Системы силовых электроприводов. Часть 2. Общие требования. Номинальные технические характеристики* низковольтных систем *силовых электроприводов переменного тока с регулируемой частотой)*

IEC 61800-8 *Adjustable speed electrical power dnve systems* — *Part 8: Specification of voltage on the* power *interface (Системы силового привода с* регулируемой *скоростью. Часть 8. Спецификация напряжения на сило­ вом сопряжении)*

ISO 3 *Preferred numbers-series of* preferred *numbers* ('Предпочтительные *числа. Ряды предпочтительных*

чисел)

EN 50347 *Трехфазные асинхронные двигатели стандартных размеров* и номиналов *выходной* мощности.

Г*абаритные номера от 56 до 315 и номера* фланцев от 65 *до 740*

NEMAICS 7.1 *Safety Standards tor Construction and Guide for Selection. Installation, and* Operafon *of Adjustable- Speed Drive Systems*

NEMA MG1 *Motors and Generators*

NEMA MG10 *Energy Management Guide For Selection and Use of Fixed Frequency Medium AC Squirrel-Cage Polyphase Induction Motors*

NEMA MG11 *Energy Management Guide For Selection and Use of Single-Phase Motors*

IEEE 112—1996 *IEEE Standard Test* Procedure *for Polyphase Induction Motors and* Generators

OE ALMEIDA. ANI8AL. et al. *Energy-using Products Directive.* Preparatory Studies. Lot 11: Motors. Coimbra Portugal. February 2008

33

ГОСТ IEC/TS 60034-31—2015

УДК 621.313.3:006.354 МКС29.160 Е60 ЮТ

Ключевые слова: машины электрические вращающиеся, асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, коэффициент полезного действия, класс энвргооффективности

Редактор Е.С. *Римская*

Корректор *Е.Р.* Ароян Компьютерная верстка *Ю.В. Поповой*

Сдано в набор 22.08-2016. Подписано в печать 12.09.2016 Формат 60 » fld’/g. Гарнитура Ариал.

Уел. печ. п. 4,65 Уч.-изд. л. 4.20. Тираж 29 эха. Зак. 2232.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Набрано в ИД «Юриспруденции». 1TS419. Москва, ул. Орджоникидзе. И. [www.funsizdat.ru](http://www.funsizdat.ru/) y-book@mail.nj

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ». 123995, Москва. Гранатный пер.. 4. [www.90sbnfo.ru](http://www.90sbnfo.ru/) info@gostinfb.ru