МАШИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВРАЩАЮЩИЕСЯ

Часть 1

Номинальные и рабочие характеристики

МАШЫНЫ ЭЛЕКТРЫЧНЫЯ, ЯКІЯ КРУЦЯЦЦА

Частка 1

Намінальныя і рабочыя характарыстыкі

(IEC 60034-1:2004, IDT)

Издание официальное

БЗ 6-2007

Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации

Минск

gost.e-ecolog.ru

ЕВРАЗИЙСКИЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ (ЕАСС)

EURO-ASIAN COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION (EASC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ МЭК 60034-1-2007

МАШЫНЫ ЭЛЕКТРЫЧНЫЯ, ЯКІЯ КРУЦЯЦЦА

Частка 1

Намінальныя і рабочыя характарыстыкі

МАШИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВРАЩАЮЩИЕСЯ

Часть 1

Номинальные и рабочие характеристики

IEC 60034-1:2004
Rotating electrical machines. Part 1. Rating and performance (IDT)

Издание официальное

Минск
Госстандарт Республики Беларусь
2007

Предисловие

Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС) представляет собой региональное объединение национальных органов по стандартизации государств, входящих в Содружество Независимых Государств. В дальнейшем возможно вступление в ЕАСС национальных органов по стандартизации других государств.

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0-92 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2-97 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Порядок разработки, принятия, применения, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН научно-производственным республиканским унитарным предприятием «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации» (БелГИСС) на основе собственного аутентичного перевода стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь

3 ПРИНЯТ Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 31-2007 от 8 июня 2007 г.)

За принятие стандарта проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Азербайджан	AZ	Азстандарт
Армения	AM	Минторгэкономразвития
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Кыргызстан	KG	Кыргызстандарт
Молдова	MD	Молдова-Стандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт
Украина	UA	Госпотребстандарт Украины

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 60034-1:2004 «Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные и рабочие характеристики» (IEC 60034-1:2004 «Rotating electrical machines. Part 1. Rating and performance»).

Сведения о соответствии международных стандартов, на которые даны ссылки, межгосударственным стандартам, принятым в качестве идентичных межгосударственных стандартов, приведены в дополнительном приложении С.

Международный стандарт разработан МЭК/ТК 2 «Электрические машины».

Перевод с английского языка (en).

Официальные экземпляры международных стандартов, на основе которых подготовлен настоящий межгосударственный стандарт и на которые даны ссылки, имеются в Госстандарте Республики Беларусь.

Степень соответствия – идентичная (IDT)

5 ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 28 июня 2007 г. № 35 непосредственно в качестве государственного стандарта Республики Беларусь с 1 декабря 2007 г.

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных (государственных) стандартов, издаваемых в этих государствах.

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Республики Беларусь без разрешения Госстандарта Республики Беларусь

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Режимы работы 5
4.1 Определение режима работы 5
4.2 Типовые режимы работы 5
5 Номинальные данные 15
5.1 Задание номинальных данных 15
5.2 Классы номинальных данных 15
5.3 Выбор класса номинальных данных 16
5.4 Распределение выходных мощностей по классам номинальных данных 16
5.5 Номинальная выходная мощность 16
5.6 Номинальное напряжение 17
5.7 Согласование напряжений и выходных мощностей 17
5.8 Машины с несколькими номинальными данными 17
6 Условия эксплуатации 17
6.1 Общие положения 17
6.2 Высота 17
6.3 Максимальная температура окружающего воздуха 17
6.4 Минимальная температура окружающего воздуха 17
6.5 Температура водяного хладагента 18
6.6 Транспортирование и хранение 18
6.7 Чистота водородного хладагента 18
7 Электрические условия эксплуатации 18
7.1 Электрическое питание 18
7.2 Форма и симметрия напряжений и токов 18
7.3 Изменение напряжения и частоты во время работы 21
7.4 Трехфазные машины переменного тока, работающие с незаземленными системами 22
7.5 Предельные уровни напряжения (пик и градиент) 22
8 Тепловые характеристики и испытания 22
8.1 Классификация нагревостойкости 22
8.2 Основной хладагент 23
8.3 Условия проведения испытаний на нагрев 23
8.4 Превышение температуры части машины 24
8.5 Методы измерения температуры 24
8.6 Определение температуры обмоток 25
8.7 Продолжительность испытаний на нагрев 27

8.8 Определение эквивалентной тепловой постоянной времени для машин, предназначенных для работы в режиме работы S9 28
8.9 Измерение температуры подшипников 28
8.10 Пределы температуры и превышение температуры 28
9 Прочие характеристики и испытания 35
9.1 Приемо-сдаточные испытания 35
9.2 Проверка электрической прочности изоляции 36
9.3 Случайные перегрузки по току 39
9.4 Кратковременная перегрузка двигателей по вращающему моменту 40
9.5 Минимальный пусковой момент 40
9.6 Безопасная рабочая частота вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором 40
9.7 Повышенная частота вращения 41
9.8 Ток короткого замыкания для синхронных машин 42
9.9 Испытание синхронных машин на невосприимчивость при коротком замыкании 43
9.10 Коммутационное испытание коллекторных машин 43
9.11 Суммарный коэффициент гармоник для синхронных машин 43
10 Паспортные таблички 44
10.1 Общие положения 44
10.2 Маркировка 44
11 Прочие требования 45
11.1 Заземление машин 45
11.2 Шпонка на конце вала 46
12 Отклонения 46
12.1 Общие положения 46
13 Электромагнитная совместимость 48
13.1 Общие требования 48
13.2 Помехоустойчивость 49
13.3 Помехоэмиссия 49
13.4 Испытания на помехоустойчивость 49
13.5 Испытания на помехоэмиссию 49
14 Безопасность 49
Приложение А (справочное) Руководство по применению режима работы S10 для установления срока службы по условиям нагрева *TL* 50
Приложение В (справочное) Нормы электромагнитной совместимости 51
Приложение С (справочное) Сведения о соответствии международных стандартов, на которые даны ссылки, межгосударственным стандартам 52

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

МАШИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВРАЩАЮЩИЕСЯ
Часть 1
Номинальные и рабочие характеристики

Rotating electrical machines
Part 1
Rating and performance

Дата введения 2007-12-01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на вращающиеся электрические машины, кроме тех, на которые имеются другие стандарты МЭК, например МЭК 60349.

К машинам, на которые распространяется настоящий стандарт, могут быть также применены дополнительные требования других стандартов, например МЭК 60079 и МЭК 60092.

Примечание – Если отдельные пункты стандарта изменены для случаев специального применения, например машины, подвергающиеся радиоактивному облучению, или машины для авиакосмической промышленности, то все другие пункты применяют в том объеме, насколько они совместимы с требованиями к этой технике.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте применяют стандарты, приведенные ниже. Для датированных ссылок применяют только приведенное издание. Для недатированных ссылок применяют последнее издание ссылочного стандарта (включая все его изменения).

МЭК 60027-1 Обозначения буквенные, применяемые в электротехнике. Часть 1. Общие положения

МЭК 60027-4 Обозначения буквенные, применяемые в электротехнике. Часть 4. Электрические вращающиеся машины

МЭК 60034-2 Машины электрические вращающиеся. Часть 2. Методы определения потерь и коэффициента полезного действия вращающихся электрических машин (исключая машины для тяговых транспортных средств)

МЭК 60034-3 Машины электрические вращающиеся. Часть 3. Специальные требования для синхронных турбомашин

МЭК 60034-5 Машины электрические вращающиеся. Часть 5. Степени защиты, предусмотренные конструкцией вращающихся электрических машин (IP код). Классификация

МЭК 60034-6:1991 Машины электрические вращающиеся. Часть 6. Методы охлаждения (код IC)

МЭК 60034-8 Машины электрические вращающиеся. Часть 8. Маркировка выводов и направление вращения

МЭК 60034-12 Машины электрические вращающиеся. Часть 12. Пусковые характеристики односкоростных трехфазных двигателей с короткозамкнутым ротором

МЭК 60034-15 Машины электрические вращающиеся. Часть 15. Предельные уровни импульсного напряжения для вращающихся машин переменного тока с шаблонной обмоткой статора

МЭК 60034-17 Машины электрические вращающиеся. Часть 17. Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, питающиеся от преобразователей. Руководство по применению

МЭК 60034-18 (все части) Машины электрические вращающиеся. Функциональная оценка систем изоляции

МЭК 60038 Эталонное напряжение МЭК

МЭК 60050 (411):1996 Международный электротехнический словарь (МЭС). Глава 411. Машины вращающиеся

Издание официальное

МЭК 60060-1 Методы испытаний высоким напряжением. Часть 1. Общие определения и требования к испытаниям

МЭК 60072 (все части) Машины электрические вращающиеся. Размеры и ряды выходных мощностей

МЭК 60204-1:1997 Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Часть 1. Общие требования

МЭК 60204-11 Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Часть 11. Требование к оборудованию напряжением свыше 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока, но не превышающим 36 кВ

МЭК 60279 Измерение сопротивления обмоток машин переменного тока при работе на переменном напряжении

МЭК 60335-1 Бытовые и аналогичные электрические приборы. Безопасность. Часть 1. Общие требования

МЭК 60445 Основные принципы и принципы безопасности для интерфейса человек-машина, маркировка и идентификация. Идентификация выводов оборудования и зажимов проводов

МЭК 60971 Полупроводниковые преобразователи. Идентификационный код для схем преобразователей

МЭК 61293 Маркировка электрооборудования номинальными значениями, относящимися к электропитанию. Требования безопасности

МЭК 61986 Машины электрические вращающиеся. Эквивалентная нагрузка и методы наложения. Косвенные испытания для определения температуры перегрева

МЭК 62114 Системы электрической изоляции (EIS). Тепловая классификация

СИСПР 11 Оборудование высокочастотное промышленное, научное и медицинское (ISM). Характеристики электромагнитных помех. Нормы и методы измерения

СИСПР 14 Электромагнитная совместимость. Требования к бытовым приборам, электроинструментам и аналогичному оборудованию

СИСПР 16 Технические условия на оборудование и методы измерения радиопомех и помехоустойчивости

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями.

Для определений, отличных от тех, которые даны в 3.17 – 3.22, касающиеся охлаждения и хладагентов, ссылка должна быть сделана на МЭК 60034-6.

В настоящем стандарте термин «соглашение» означает «соглашение между изготовителем и потребителем».

3.1 номинальное значение (rated value): Значение величины, заданное изготовителем, для точно установленных условий эксплуатации машины.

[МЭС 411-51-23]

Примечание – Номинальное напряжение или диапазон напряжений – номинальное напряжение или диапазон напряжений между проводами на выходных клеммах.

3.2 номинальные данные (rating): Совокупность номинальных значений и рабочих параметров.

[МЭС 411-51-24]

3.3 номинальная выходная мощность (rated output): Значение выходной мощности, входящее в состав номинальных данных.

3.4 нагрузка (load): Совокупность значений электрических и механических величин, которые характеризуют требования к вращающейся машине, определяемые электрической цепью или механическим устройством в данный момент времени.

[МЭС 411-51-01]

3.5 холостой ход (no-load (operation): Состояние машины, вращающейся при нулевой мощности на выходе (но при всех других нормальных условиях работы).

[МЭС 411-51-02, модифицированный]

3.6 полная нагрузка (full load): Нагрузка, при которой машина работает при номинальных данных.

[МЭС 411-51-10]

3.7 величина полной нагрузки (full load value): Числовая величина для машины, работающей с полной нагрузкой.

[МЭС 411-51-11]

Примечание – Это понятие применимо к мощности, вращающему моменту, току, частоте вращения и т. д.

3.8 состояние покоя и обесточивания (de-energized and rest): Полное отсутствие любого движения электрического или механического привода.

[МЭС 411-51-03]

3.9 режим работы (duty): Заявленная(ые) нагрузка(и), которой(ым) подвергается машина, включающая, если это необходимо, периоды пуска, электрического торможения, холостого хода и состояния покоя, а также их продолжительность и последовательность чередования во времени.

[МЭС 411-51-06]

3.10 типовой режим (duty type): Продолжительный, кратковременный или периодический режимы, включающие одну или несколько нагрузок, остающихся неизменными в течение установленного промежутка времени, или непериодический режим, в течение которого нагрузка и скорость изменяются в пределах допустимого рабочего диапазона.

[МЭС 411-51-13]

3.11 продолжительность включения (cyclic duration factor): Отношение продолжительности работы машины под нагрузкой, включая пуск и электрическое торможение, к продолжительности рабочего цикла, выраженное в процентах.

[МЭС 411-51-09]

3.12 вращающий момент при заторможенном роторе (locked-rotor torque): Минимальный измеренный вращающий момент, развиваемый двигателем на валу при заторможенном роторе и при номинальных значениях напряжения и частоты питания.

[МЭС 411-48-06]

3.13 ток при заторможенном роторе (locked rotor current): Наибольшее установившееся действующее значение тока, потребляемого двигателем, измеренное в установившемся режиме при заторможенном роторе при номинальных значениях напряжения и частоты питания.

[МЭС 411-48-16]

3.14 минимальный пусковой момент (двигателя переменного тока) (pull-up torque (of an a.c. motor): Наименьший вращающий момент, который двигатель развивает между нулевой частотой вращения и частотой вращения, которая соответствует максимальному вращающему моменту при номинальном напряжении и частоте питания.

Это определение неприменимо к тем асинхронным двигателям, у которых вращающий момент непрерывно понижается с увеличением частоты вращения.

Примечание – В дополнение к установившимся вращающим моментам асинхронных двигателей гармонические вращающие моменты синхронных двигателей, которые являются функцией от угла нагрузки ротора, будут присутствовать в коэффициенте быстроходности.

При таких частотах вращения пусковой вращающий момент может быть отрицательным для некоторых углов нагрузки ротора.

Опыт и вычисление показывают, что этот эксплуатационный режим является неустойчивым, поэтому гармонические вращающие моменты синхронных двигателей не препятствуют пуску двигателя и исключены из этого определения.

3.15 максимальный вращающий момент (двигателя переменного тока) (breakdown torque (of an a.c. motor): Максимальное значение установившегося асинхронного вращающего момента, развиваемого двигателем при номинальных значениях напряжения и частоты, без резкого снижения частоты вращения.

Это определение неприменимо к тем асинхронным двигателям, у которых вращающий момент непрерывно уменьшается с увеличением частоты вращения.

3.16 предельный перегрузочный момент (синхронного двигателя) (pull-out torque (of a synchronous motor): Максимальный вращающий момент, развиваемый синхронным двигателем при рабочей температуре и синхронной частоте вращения, при номинальном значении напряжения, частоты питания и тока возбуждения.

3.17 охлаждение (cooling): Процесс, в ходе которого тепло, обусловленное потерями в машине, передается, прежде всего, охлаждающей среде, которая может быть заменена или может самостоятельно быть охлаждена вторичным хладагентом в охладителе.

[МЭС 411-44-01]

3.18 хладагент (coolant): Среда, жидкость или газ, посредством которых переносится теплота.

[МЭС 411-44-02]

3.19 первичный хладагент (primary coolant): Жидкость или газ, имеющие температуру ниже температуры соприкасающихся с ними частей машины и переносящие тепло, отдаваемое этими частями.

[МЭС 411-44-03]

3.20 вторичный хладагент (secondary coolant): Жидкость или газ, имеющие температуру ниже температуры первичного хладагента и переносящие тепло, отдаваемое первичным хладагентом через охладитель или внешние поверхности машины.

[МЭС 411-44-04]

3.21 обмотка с внутренним (непосредственным) охлаждением (direct cooled (inner cooled) winding)[1]: Обмотка, главным образом охлаждаемая хладагентом, текущим в прямом контакте с охлаждаемой частью сквозь полые проводники, трубы или каналы, являющиеся неотъемлемой частью обмотки внутри основной изоляции.

[МЭС 411-44-08]

3.22 обмотка с внешним (косвенным) охлаждением (indirect cooled winding)[1]: Обмотка, охлаждаемая любым другим методом, кроме указанного в 3.21.

[МЭС 411-44-09]

3.23 дополнительная изоляция (supplementary insulation): Независимая изоляция, предусмотренная в дополнение к основной изоляции с целью обеспечения защиты от поражения электрическим током в случае повреждения основной изоляции.

3.24 момент инерции (moment of inertia): Сумма (интегральная) произведений масс отдельных элементов тела на квадраты их расстояний от оси.

3.25 тепловое равновесие (thermal equilibrium): Режим, когда превышение температуры отдельных частей машины изменяется не более чем на 2 °С в час.

[МЭС 411-51-08]

Примечание – Тепловое равновесие может быть определено по графику зависимости температуры от времени, который представляет собой прямые линии между точками в начале и конце двух последовательных интервалов, каждый из которых менее чем 2 °С в час.

3.26 эквивалентная тепловая постоянная времени (thermal equivalent time constant): Постоянная времени, которая, заменяя несколько отдельных постоянных времени, приближенно определяет изменение температуры обмотки после ступенчатого изменения тока.

3.27 капсулированная обмотка (encapsulated winding): Обмотка, которая полностью закрыта или герметизирована изоляционным материалом.

[МЭС 411-39-06]

3.28 номинальное значение коэффициента формы постоянного тока, питающего якорь двигателя постоянного тока от статического преобразователя мощности (rated form factor of direct current supplied to a d.c. motor armature from a static power converter): Отношение максимального действующего значения тока $I_{rms,\ maxN}$ к его среднему значению I_{avN} (величина интегрируется в течение одного периода) при номинальных условиях

$$k_{fN} = \frac{I_{rms,\,\max N}}{I_{avN}}.$$

3.29 коэффициент пульсации тока (current ripple factor): Отношение разности максимальной величины I_{max} и минимальной величины I_{min} пульсирующего тока к удвоенному среднему значению I_{av} (среднее значение в пределах одного периода):

$$q_i = \frac{I_{max} - I_{min}}{2\,I_{av}}.$$

Примечание – Для малых значений тока при слабой пульсации коэффициент пульсации может быть приближенно определен из следующего выражения

$$q_i = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}.$$

Вышеупомянутое выражение может быть использовано как приблизительное, если вычисляемая величина q_i является равной или менее чем 0,4.

3.30 отклонение (toleranse): Допустимое отклонение между заявленным значением величины и измеренным значением.

3.31 испытание типа (type test): Испытания одной или нескольких машин, имеющих определенную конструкцию, для подтверждения соответствия конструкции определенным техническим требованиям.

[МЭС 411-53-01]

---

[1] В случае, когда «внешнее» или «внутреннее» не установлено, предполагают внешнее охлаждение обмоток.

3.32 приемо-сдаточные испытания (routine test): Испытание, которому подвергается каждая машина во время или после изготовления для подтверждения соответствия определенным требованиям.

[МЭС 411-53-02]

4 Режимы работы

4.1 Определение режима работы

Потребитель должен установить режим работы одним из следующих способов:

a) численно, когда нагрузка не изменяется или когда она изменяется по известной зависимости;

b) как график изменения переменных величин во времени;

c) выбирая один из типов режима работы от S1 до S10, но не менее тяжелый, чем ожидаемый режим работы.

Тип режима работы должен обозначаться соответствующим условным обозначением, определенным в 4.2, которое пишется после значения нагрузки.

Продолжительность включения обозначается соответствующим числом с подходящим режимом работы.

Потребитель обычно не может задавать момент инерции двигателя J_M или срок службы по условиям нагрева *TL* (см. приложение А). Эти величины задаются изготовителем.

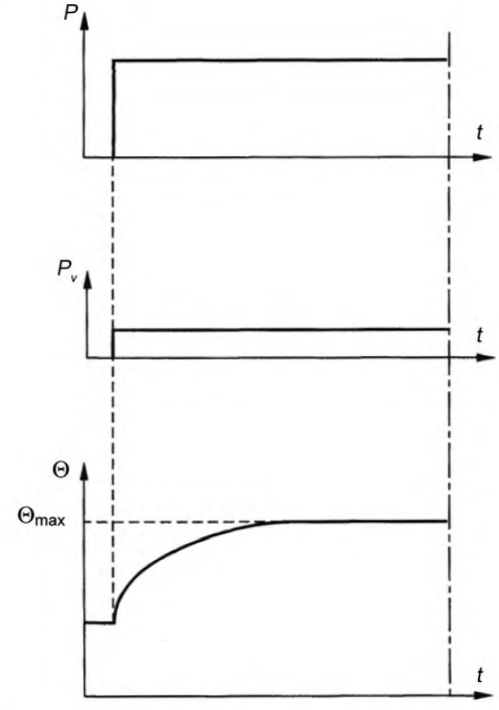
Когда потребитель не оговаривает режим работы, изготовитель должен предположить, что будет применяться режим работы S1 (продолжительный режим работы).

4.2 Типовые режимы работы

4.2.1 Режим работы S1 – продолжительный режим

Режим работы с постоянной нагрузкой, имеющей место в течение достаточного времени, необходимого для достижения машиной теплового равновесия (см. рисунок 1).

Соответствующее обозначение – S1.



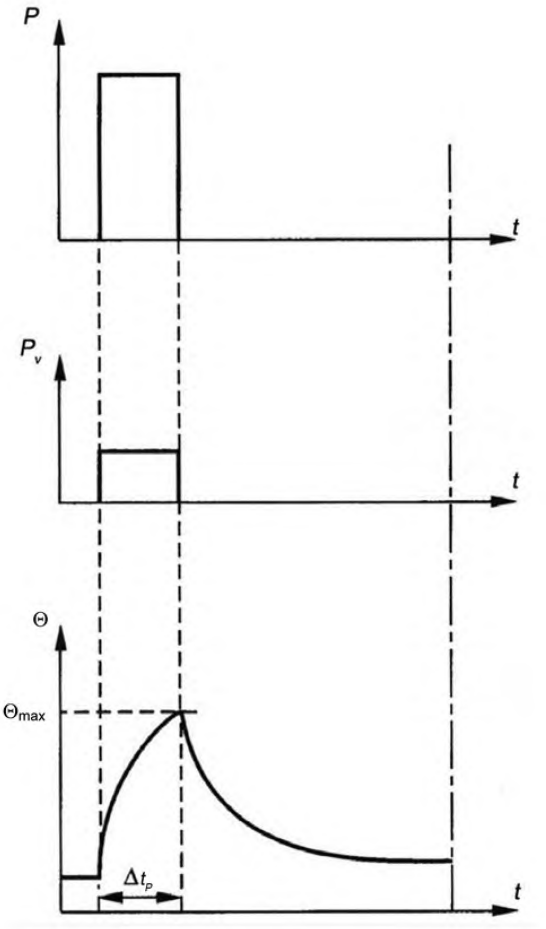
P – нагрузка; P_V – электрические потери; Θ – температура;
$Θ_{max}$ – максимальная достигаемая температура; t – время

Рисунок 1 – Продолжительный режим – режим работы S1

4.2.2 Режим работы S2 – кратковременный режим

Режим работы с постоянной нагрузкой в течение определенного времени, недостаточного для достижения теплового равновесия, за которым следует состояние покоя и обесточивание достаточной продолжительности для того, чтобы температура машины сравнялась с температурой охлаждающей среды с точностью 2 °С (см. рисунок 2).

Соответствующее обозначение – S2 с указанием продолжительности работы, например S2 60 мин.



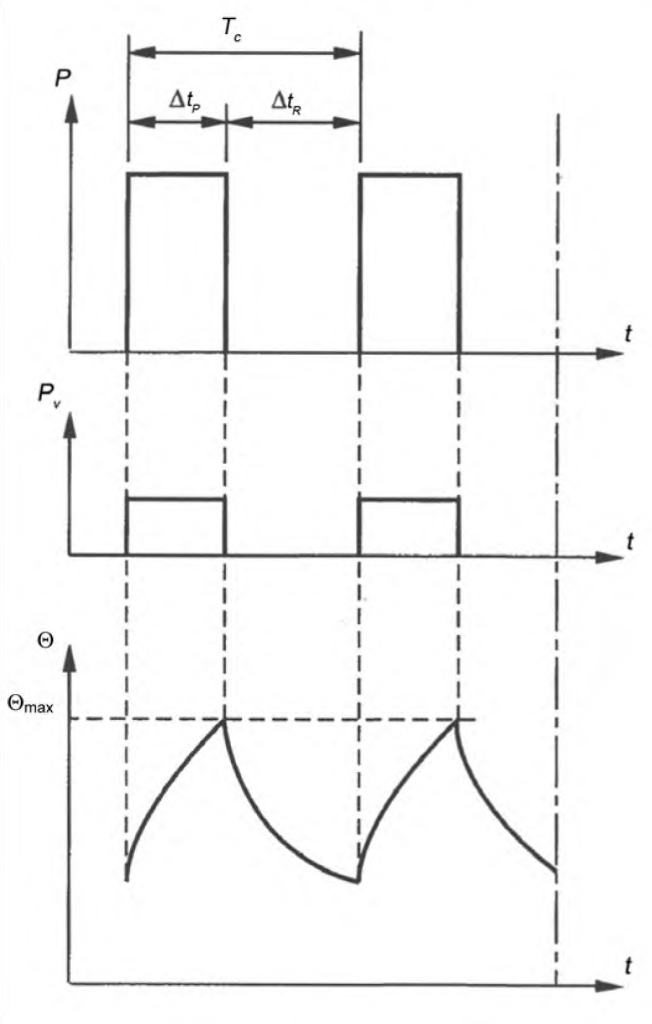
P – нагрузка; P_V – электрические потери; Θ – температура; $Θ_{max}$ – максимальная достигаемая температура; t – время; $Δt_P$ – время работы при постоянной нагрузке

Рисунок 2 – Кратковременный режим – режим работы S2

4.2.3 Режим работы S3 – повторно-кратковременный режим[1)]

Последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых состоит из периода работы с постоянной нагрузкой, периодов покоя и обесточивания (см. рисунок 3). При этом режиме работы пусковой ток не оказывает заметного влияния на повышение температуры.

Соответствующее обозначение – S3 с указанием продолжительности включения, например S3 25 %.



P – нагрузка; P_V – электрические потери; Θ – температура; Θ_{max} – максимальная достигаемая температура; t – время; T_C – время одного цикла нагрузки; Δt_P – время работы при постоянной нагрузке; Δt_R – время покоя и обесточивания.

Продолжительность включения – $\Delta t_P / T_C$

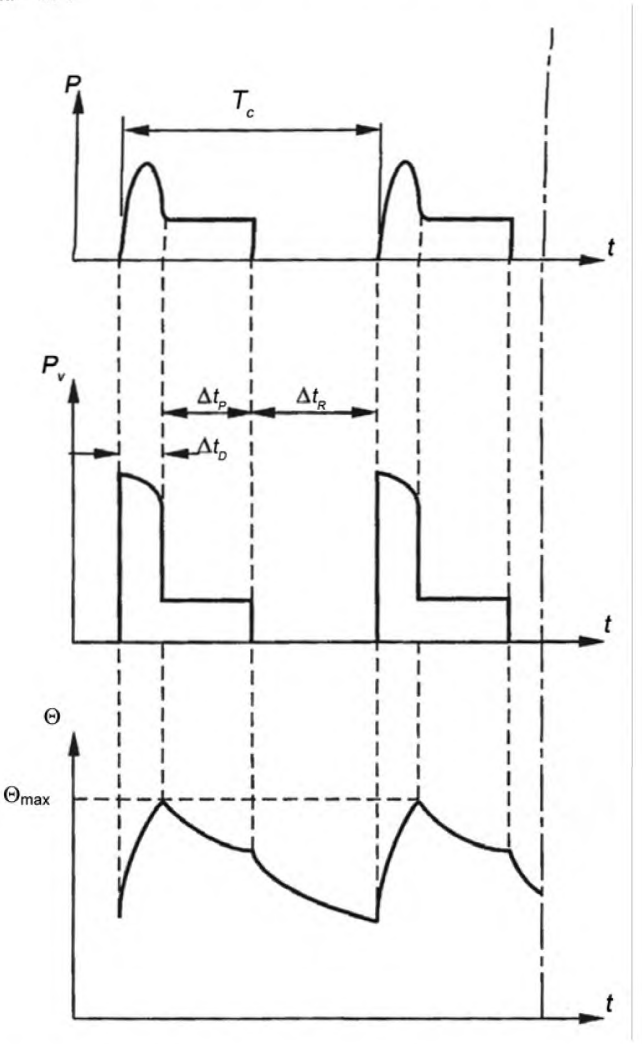
Рисунок 3 – Повторно-кратковременный режим – режим работы S3

[1)] Периодический режим работы предполагает, что тепловое равновесие не достигается в течение времени работы под нагрузкой.

4.2.4 Режим работы S4 – повторно-кратковременный режим с частыми пусками[1)]

Последовательность одинаковых рабочих циклов, где каждый цикл включает достаточно длительный период пуска, периоды работы с постоянной нагрузкой, покоя и обесточивания (см. рисунок 4).

Соответствующее обозначение – S4 с указанием продолжительности включения, момента инерции двигателя J_M и момента инерции нагрузки J_{ext}, относительно вала двигателя, например S4 25 % J_M = 0,15 кг · м^2; J_{ext} = 0,7 кг · м^2.



P – нагрузка; P_V – электрические потери; Θ – температура; Θ_{max} – максимальная достигаемая температура; t – время; T_C – время одного цикла нагрузки; Δt_D – время разгона при пуске; Δt_P – время работы при постоянной нагрузке; Δt_R – время покоя и обесточивания.

Продолжительность включения – $(\Delta t_D + \Delta t_P / T_C)$

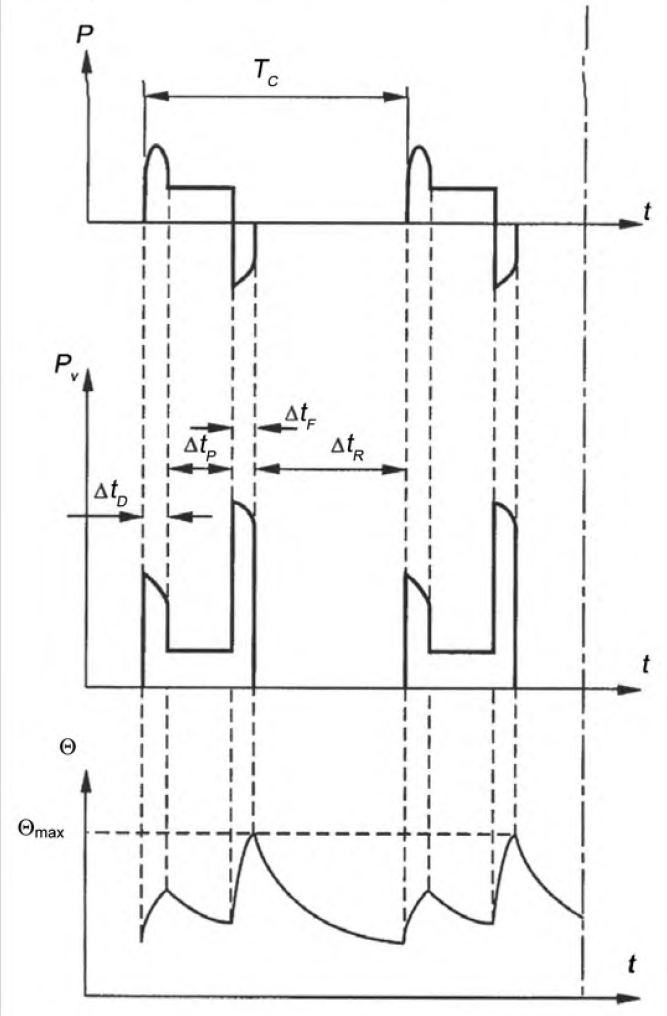
Рисунок 4 – Повторно-кратковременный режим с частыми пусками – режим работы S4

[1)] Периодический режим работы предполагает, что тепловое равновесие не достигается в течение времени работы под нагрузкой.

4.2.5 Режим работы S5 – повторно-кратковременный режим с частыми пусками и электрическим торможением[1)]

Последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых состоит из периодов пуска, работы с постоянной нагрузкой, электрического торможения, покоя и обесточивания (см. рисунок 5).

Соответствующее обозначение – S5 с указанием продолжительности включения, момента инерции двигателя J_M и момента инерции нагрузки J_{ext} относительно вала двигателя, например *S*5 25 %, J_M = 0,15 кг · м^2; J_{ext} = 0,7 кг · м^2.



P – нагрузка; P_V – электрические потери; Θ – температура; Θ_{max} – максимальная достигаемая температура; *t* – время; T_C – время одного цикла нагрузки; Δt_D – время разгона при пуске; Δt_P – время работы при постоянной нагрузке; Δt_F – время электрического торможения; Δt_R – время покоя и обесточивания.

Продолжительность включения – $(\Delta t_D + \Delta t_P + \Delta t_F) / T_C$

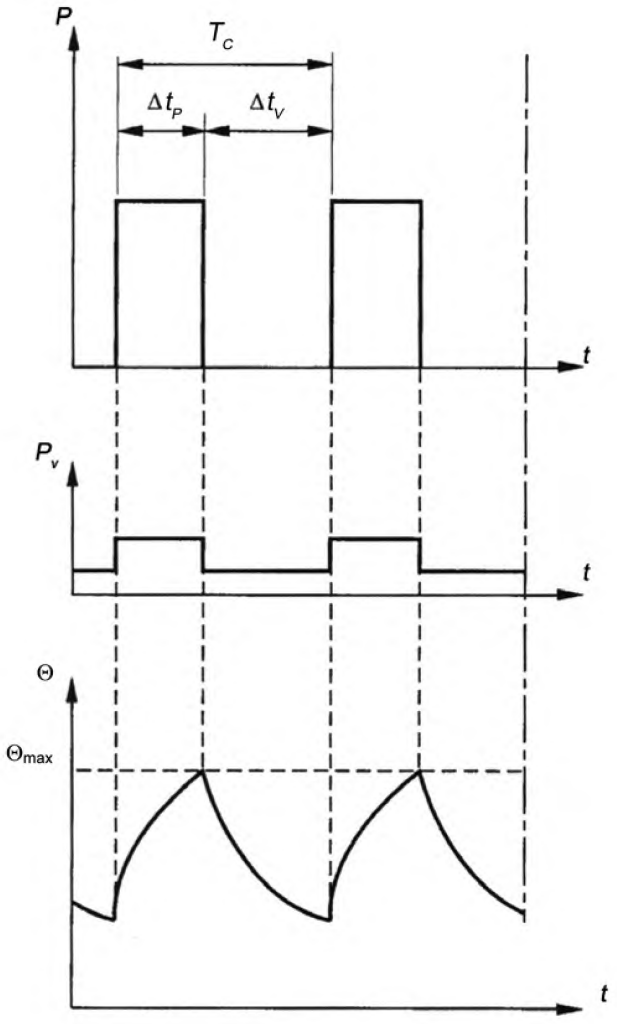
Рисунок 5 – Периодический кратковременный режим с частыми пусками и электрическим торможением – режим работы S5

[1)] Периодический режим работы предполагает, что тепловое равновесие не достигается в течение времени работы под нагрузкой.

4.2.6 Режим работы S6 – перемежающийся режим[1)]

Последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых состоит из периодов работы с постоянной нагрузкой и холостого хода. Период покоя и обесточивания отсутствует (см. рисунок 6).

Соответствующее обозначение – S6 с указанием продолжительности включения, например S6 40 %.



P – нагрузка; P_V – электрические потери; Θ – температура; Θ_{max} – максимальная достигаемая температура; t – время; T_C – время одного цикла нагрузки; Δt_P – время работы при постоянной нагрузке; Δt_V – время работы без нагрузки.

Продолжительность включения – $\Delta t_P / T_C$

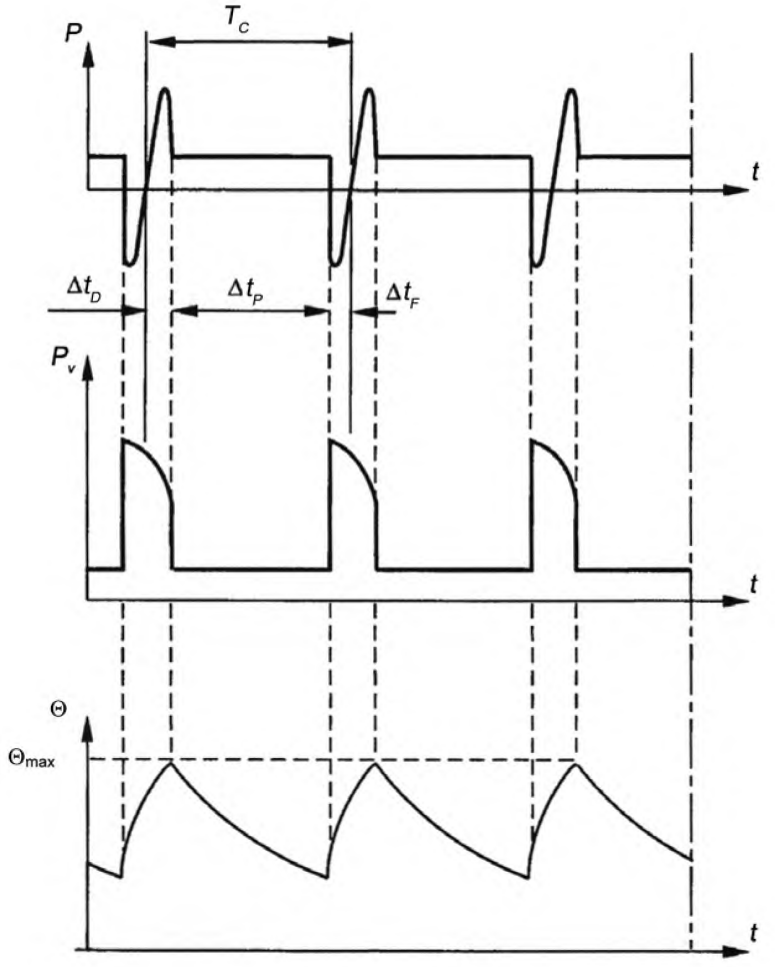
Рисунок 6 – Перемежающийся режим – режим работы S6

[1)] Периодический режим работы предполагает, что тепловое равновесие не достигается в течение времени работы под нагрузкой.

4.2.7 Режим работы S7 – перемежающийся режим с частыми пусками при электрическом торможении[1)]

Последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых состоит из периодов пуска, работы с постоянной нагрузкой и электрического торможения. Период покоя и обесточивания отсутствует (см. рисунок 7).

Соответствующее обозначение – S7 с указанием момента инерции двигателя J_M и момента инерции нагрузки J_{ext} относительно вала двигателя, например S7 J_M = 0,4 кг · м^2; J_{ext} = 7,5 кг · м^2.



P – нагрузка; P_V – электрические потери; Θ – температура; Θ_{max} – максимальная достигаемая температура; t – время; T_C – время одного цикла нагрузки; Δt_D – время разгона при пуске; Δt_P – время работы при постоянной нагрузке; Δt_F – время электрического торможения. Продолжительность включения – 1

Рисунок 7 – Перемежающийся режим с частыми пусками при электрическом торможении – режим работы S7

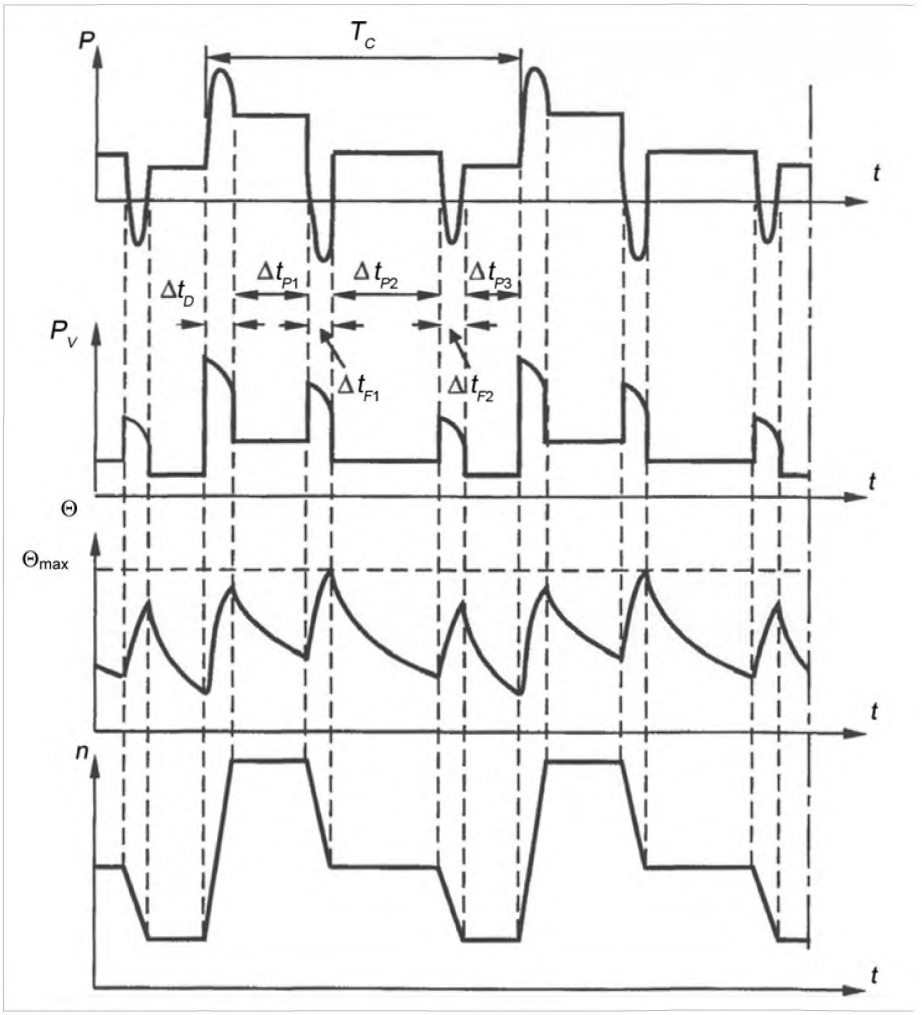
[1)] Периодический режим работы предполагает, что тепловое равновесие не достигается в течение времени работы под нагрузкой.

4.2.8 Режим работы S8 – перемежающийся режим с изменением нагрузки и частоты вращения[1)]

Последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых состоит из периода работы с постоянной нагрузкой при соответствующей заданной частоте вращения и одного или более периодов работы с другими постоянными нагрузками при соответствующих различных частотах вращения (которые достигаются, например, изменением числа полюсов в случае асинхронных двигателей). Период покоя и обесточивания отсутствует (см. рисунок 8).

Соответствующее обозначение – S8 с указанием момента инерции двигателя J_M, момента инерции нагрузки J_{ext} относительно вала двигателя, а также нагрузки, частоты вращения и продолжительности включения для каждого из режимов частоты вращения, например:

S8 J_M = 0,5 кг · м^2;	J_{ext} = 7,5 кг · м^2;	16 кВт	740 мин$^{-1}$	30 %;
		40 кВт	1 460 мин$^{-1}$	30 %;
		25 кВт	980 мин$^{-1}$	40 %.



P – нагрузка; P_V – электрические потери; Θ – температура; Θ_{max} – максимальная достигаемая температура; n – частота вращения; t – время; T_C – время одного цикла нагрузки; Δt_D – время разгона при пуске; Δt_P – время работы при постоянной нагрузке ($P1$, $P2$, $P3$); Δt_F – время электрического торможения ($F1$, $F2$).
Продолжительность включения – $(\Delta t_D + \Delta t_{P1}) / T_C; (\Delta t_{F1} + \Delta t_{P2}) / T_C; (\Delta t_{F2} + \Delta t_{P3}) / T_C$

Рисунок 8 – Перемежающийся режим с изменением нагрузки и частоты вращения – режим работы S8

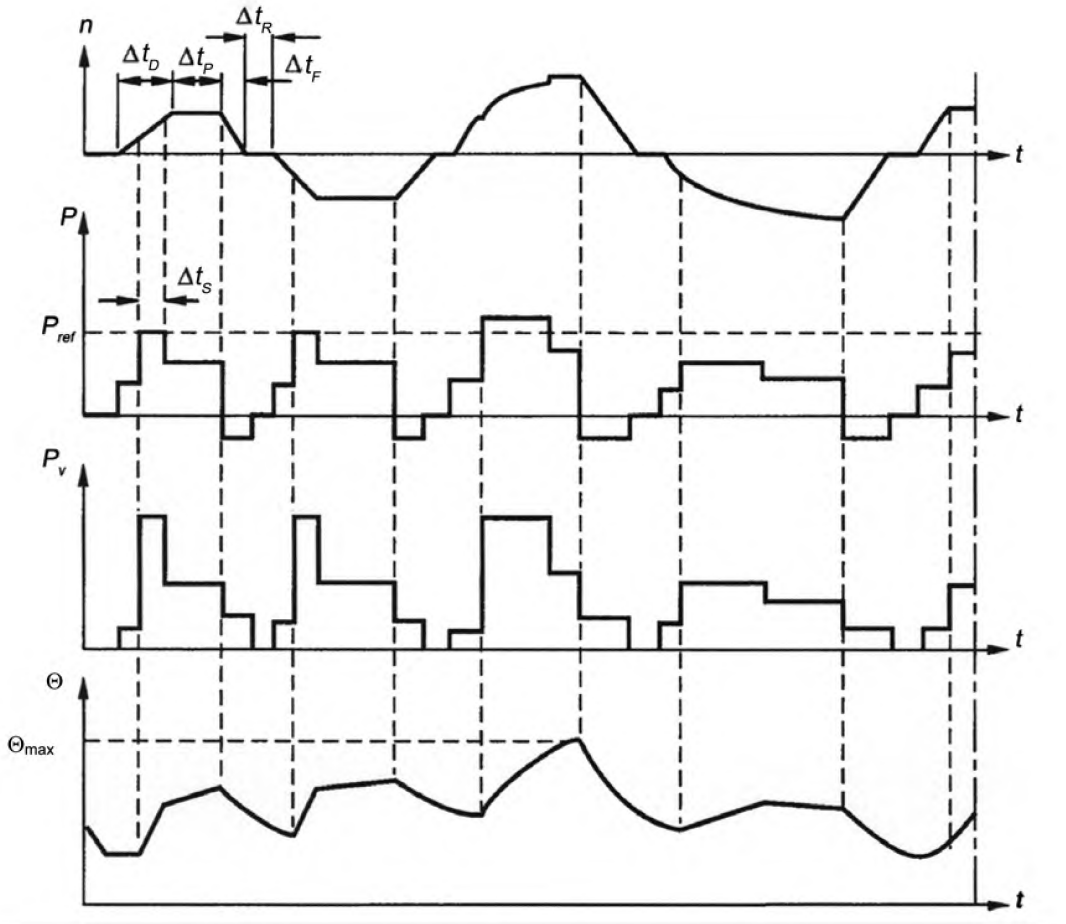
[1)] Периодический режим работы предполагает, что тепловое равновесие не достигается в течение времени работы под нагрузкой.

4.2.9 Режим работы S9 – режим с непериодическими изменениями нагрузки и частоты вращения

Режим работы, при котором нагрузка и частота вращения изменяются непериодически в пределах допустимого рабочего диапазона. Этот режим часто включает перегрузки, которые могут значительно превышать базовую нагрузку (см. рисунок 9).

Соответствующее обозначение – S9.

Для этого режима работы тип постоянной нагрузки, соответственно отобранный на основании режима работы S1, принят как базовое значение (см. рисунок 9) для определения перегрузки.



P – нагрузка; P_{ref} – базовая нагрузка; P_V – электрические потери; Θ – температура; Θ_{max} – максимальная достигаемая температура; n – частота вращения; t – время; Δt_D – время разгона при пуске; Δt_P – время работы при постоянной нагрузке ($P1$, $P2$, $P3$); Δt_F – время электрического торможения ($F1$, $F2$); Δt_R – время покоя и обесточивания; Δt_S – время работы с перегрузкой

Рисунок 9 – Режим с непериодическими изменениями нагрузки и частоты вращения – режим работы S9

4.2.10 Режим работы S10 – режим работы с дискретными постоянными нагрузками

Режим работы, состоящий из не более чем четырех дискретных величин нагрузки (или эквивалента нагрузки), каждая из которых сохраняется в течение достаточного времени, чтобы позволить машине достигнуть теплового равновесия (см. рисунок 10). Минимальная нагрузка в пределах рабочего цикла может быть равна нулю (холостой ход или период покоя и обесточивания).

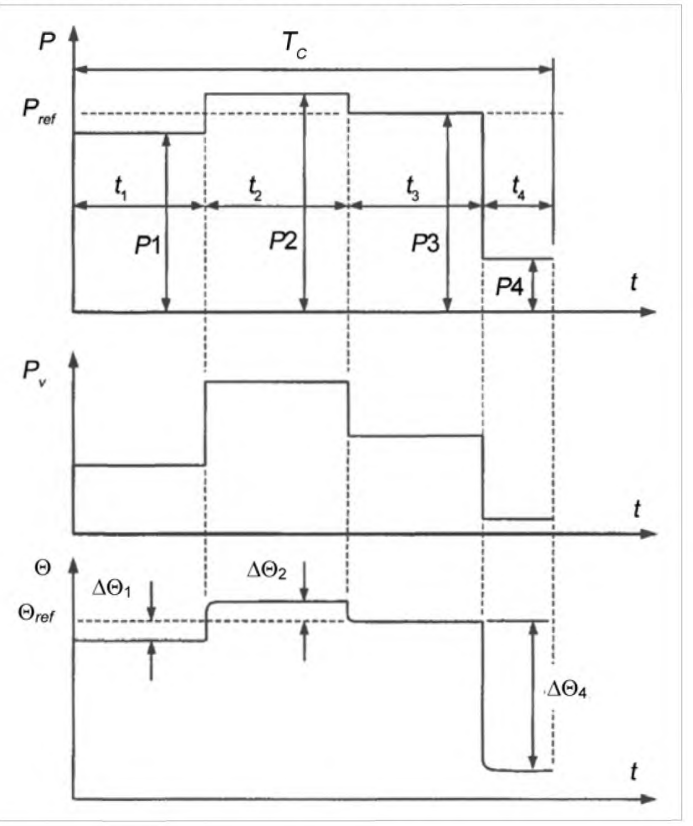
Соответствующее обозначение – S10 с указанием величины соответствующей нагрузки и ее продолжительности в относительных единицах $p/\Delta t$ и значением в относительных единицах срока службы *TL* по условиям нагрева системы изоляции. Исходное значение срока службы по условиям нагрева – срок службы по условиям нагрева при продолжительном режиме работы и допустимые пределы повышения температуры, основанные на продолжительном режиме работы S1. Для состояния покоя и обесточивания нагрузка должна быть обозначена буквой *r*.

Пример – S10 p/Δt = 1,1/0,4; 1/0,3; 0,9/0,2; r/0,1 TL = 0,6.

TL следует округлять до ближайшего значения, кратного числу 0,05. Рекомендации относительно этого параметра и отклонения его значения даются в приложении А.

Для этого типа режима работы постоянная нагрузка, соответственно отобранная на основании продолжительного режима S1, должна быть принята как базовая величина (см. рисунок 10) для дискретных нагрузок.

Примечание – Дискретная нагрузка обычно является эквивалентной нагрузкой, основанной на интегрировании по времени. Необязательно, чтобы каждый цикл нагрузки был одинаковым, главное, чтобы каждая нагрузка в течение цикла сохраняла в течение достаточного времени достигнутое тепловое равновесие и чтобы была возможность объединять циклы нагрузки так, чтобы обеспечивать тот же самый срок службы по условиям нагрева.



P – нагрузка; P_i – постоянная нагрузка в пределах цикла нагрузки;
P_{ref} – базовая нагрузка на основе режима работы S1; P_V – электрические потери; Θ – температура;
Θ_{ref} – температура базовой нагрузки на основе режима работы *S1*; *t* – время;
t_i – время постоянной нагрузки в пределах цикла; T_C – время одного цикла нагрузки;
$\Delta\Theta_i$ – разность между превышением температуры обмотки для переменных нагрузок в пределах одного цикла и превышением температуры на основе режима работы S1 с базовой нагрузкой

Рисунок 10 – Режим работы с дискретными постоянными нагрузками – режим работы S10

5 Номинальные данные

5.1 Задание номинальных данных

Номинальные данные, как определено в 3.2, должен выбирать изготовитель. При определении номинальных данных изготовитель должен выбрать один из классов номинальных данных, определенных в 5.2.1 – 5.2.6. Обозначение класса номинальных данных должно быть написано после номинальной мощности. Если никакое обозначение не заявлено, применяются номинальные данные для продолжительного режима работы.

Если вспомогательные компоненты (типа реакторов, конденсаторов и т. д.) включены изготовителем в состав машины, номинальные величины должны относиться к клеммам электропитания целого устройства.

Примечание – Это не относится к силовым трансформаторам, связывающим машину с источником электропитания.

Специальный подход требуется при назначении номинальных данных для машин, питающихся от статических преобразователей. МЭК 60034-17 дает рекомендации для случая асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, на которые распространяется МЭК 60034-12.

5.2 Классы номинальных данных

5.2.1 Номинальные данные продолжительного режима работы

Номинальные данные, при которых машина может работать в течение неограниченного времени в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

Этот класс номинальных данных соответствует режиму работы *S*1 и определяется, как для режима работы S1.

5.2.2 Номинальные данные кратковременного режима

Номинальные данные, при которых машина может работать в течение ограниченного периода в соответствии с требованиями настоящего стандарта; пуск машины осуществляется при температуре окружающей среды.

Этот класс номинальных данных соответствует режиму работы S2 и определяется, как для режима работы S2.

5.2.3 Номинальные данные перемежающихся режимов

Номинальные данные, при которых машина может использоваться в рабочих циклах, соответствующих требованиям настоящего стандарта.

Этот класс номинальных данных соответствует одному из перемежающихся типовых режимов от S3 до S8 и определяется в зависимости от соответствующего типа режима работы.

Если не определено иное, длительность рабочего цикла должна быть 10 мин, а продолжительность включения должна быть выбрана из ряда следующих величин: 15 %, 25 %, 40 %, 60 %.

5.2.4 Номинальные данные для непериодического режима работы

Номинальные данные, при которых машина может работать в непериодическом режиме в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

Этот класс номинальных данных соответствует типу непериодического режима работы S9 и определяется, как для режима работы S9.

5.2.5 Номинальные данные для режимов работы с дискретными постоянными нагрузками

Номинальные данные, при которых машина может использоваться с нагрузкой, как при типовом режиме работы S10 в течение неограниченного периода времени при исполнении требований настоящего стандарта. Максимальная допустимая нагрузка в пределах одного цикла должна учесть все части машины, например систему изоляции с точки зрения достоверности экспоненциального закона для срока службы по условиям нагрева, подшипники с точки зрения температуры, другие части с точки зрения теплового расширения. Если не определено в других соответствующих стандартах МЭК, максимальная нагрузка не должна превышать более чем в 1,2 раза основную нагрузку при режиме работы S1. Минимальная нагрузка может иметь нулевое значение, а машина может работать на холостом ходу или быть в состоянии покоя и обесточивания. Рекомендации к применению этого класса номинальных данных даются в приложении А.

Этот класс номинальных данных соответствует режиму работы S10 и определяется, как для режима работы S10.

Примечание – Другие применяемые стандарты МЭК могут устанавливать максимальную нагрузку в части ограничения температуры обмоток (или превышения температуры) вместо основной нагрузки при режиме работы S1.

5.2.6 Номинальные данные для эквивалентной нагрузки

Номинальные данные, используемые для испытательных целей, при которых машина может работать при постоянной нагрузке до момента достижения теплового равновесия, при котором превышение температуры обмоток статора достигнуто, как в конце испытания при установленном режиме работы.

Примечание – Определение эквивалентных номинальных данных должно учитывать переменную нагрузку, скорость и охлаждение в рабочем цикле.

Этот класс номинальных данных, если применяется, определяется приставкой «экви».

5.3 Выбор класса номинальных данных

Машина, изготовленная для общего назначения, должна иметь номинальные данные для продолжительного режима работы и функционировать в режиме работы S1.

Если режим работы не был установлен потребителем, применяется режим работы типа S1, и задаваемые данные должны быть номинальными данными для продолжительного режима работы.

Если машина предназначена для кратковременного режима работы, номинальные данные должны быть как для режима работы S2 (см. 4.2.2).

Если машина предназначена для переменных нагрузок или нагрузок, включающих периоды холостого хода или периоды, когда машина будет в состоянии покоя и обесточивания, номинальные данные следует выбирать из режимов работы от S3 до S8 (см. 4.2.3 – 4.2.8).

Если машина предназначена для режима работы с непериодически изменяющимися нагрузкой и частотой вращения, включая перегрузки, номинальные данные должны соответствовать непериодическому режиму S9 (см. 4.2.9).

Если машина предназначена для работы с дискретными постоянными нагрузками, включая периоды перегрузки или периоды холостого хода (или периоды покоя и обесточивания), номинальные данные должны соответствовать режиму S10 (см. 4.2.10).

5.4 Распределение выходных мощностей по классам номинальных данных

При определении номинальных данных:

Для режимов работы от S1 до S8 должно(ы) приниматься установленное(ые) значение(я) постоянной нагрузки(ок) (см. 4.2.1 – 4.2.8).

Для режимов работы S9 и S10 за номинальную выходную мощность принимают базовое значение нагрузки, как для режима работы S1 (см. 4.2.9 и 4.2.10).

5.5 Номинальная выходная мощность

5.5.1 Генераторы постоянного тока

Номинальная выходная мощность – полезная электрическая мощность на выводах, выраженная в ваттах (Вт).

5.5.2 Генераторы переменного тока

Номинальная мощность – полная электрическая мощность на выводах, выраженная в вольт-амперах (В · А) с указанием коэффициента мощности.

Номинальное значение коэффициента мощности для синхронных генераторов при перевозбуждении должно быть 0,8, если иное не определено потребителем.

5.5.3 Двигатели

Номинальная выходная мощность – полезная механическая мощность на валу, выраженная в ваттах (Вт).

Примечание – В некоторых странах механическую мощность на валу двигателя принято выражать в лошадиных силах (1 британская л.с. эквивалентна 745,7 Вт; 1 метрическая лошадиная сила эквивалентна 736 Вт).

5.5.4 Синхронные компенсаторы

Номинальная выходная мощность – реактивная мощность при опережающем или отстающем токе на выводах машины, выраженная в вольт-амперах реактивных (вар) в режимах недовозбуждения или перевозбуждения.

5.6 Номинальное напряжение

5.6.1 Генераторы постоянного тока

Для генераторов постоянного тока, предназначенных для работы при относительно малом диапазоне напряжения, номинальная мощность и ток должны соответствовать наиболее высокому напряжению диапазона, если не установлено иное (см. также 6.3).

5.6.2 Генераторы переменного тока

Для генераторов переменного тока, предназначенных для работы в относительно малом диапазоне напряжения, номинальная выходная мощность и коэффициент мощности должны соответствовать каждому значению напряжения в пределах диапазона, если не оговорено иное (см. также 6.3).

5.7 Согласование напряжений и выходных мощностей

Нецелесообразно изготовлять машины всех мощностей для всех номинальных напряжений. Для машин переменного тока на основании конструктивных и производственных соображений при предпочтительных номинальных напряжениях более 1 кВ значения номинальной мощности следующие:

Таблица 1 – Предпочтительные номинальные напряжения

Номинальное напряжение, кВ	Минимальная номинальная выходная мощность, кВт (или кВ · А)
$1{,}0 < U_N \leq 3{,}0$	100
$3{,}0 < U_N \leq 6{,}0$	150
$6{,}0 < U_N \leq 11{,}0$	800
$11{,}0 < U_N \leq 15{,}0$	2500

5.8 Машины с несколькими номинальными данными

Для машин с несколькими номинальными данными настоящий стандарт применяется для каждой мощности.

Для многоскоростных двигателей номинальные данные должны быть для каждой частоты вращения.

Если номинальная величина (мощность, напряжение, частота вращения и т. д.) может иметь несколько значений или постоянно изменяться между двумя предельными значениями, то номинальные данные должны быть установлены в соответствии с этими значениями или пределами. Это положение не применяется к напряжению и частоте в течение времени работы, как определено в 7.3, или к соединению обмотки «звезда – треугольник», предназначенному для пуска.

6 Условия эксплуатации

6.1 Общие положения

Если не установлено иное, машины должны соответствовать нижеперечисленным условиям эксплуатации. Условия эксплуатации, отличающиеся от указанных условий, приведены в разделе 8.

6.2 Высота

Высота над уровнем моря не должна превышать 1000 м.

6.3 Максимальная температура окружающего воздуха

Температура окружающего воздуха не должна превышать 40 °С.

6.4 Минимальная температура окружающего воздуха

Температура окружающего воздуха должна быть не ниже минус 15 °С для любой машины, а также для машин при следующих условиях:

a) номинальная мощность более 3300 кВт (или кВ · А) на 1000 об/мин;

b) номинальная мощность менее 600 Вт (или В · А);

c) наличие коллекторов;

d) наличие подшипников скольжения;

e) наличие воды как первичного или вторичного хладагента.

Температура окружающего воздуха должна быть не ниже 0 °С.

6.5 Температура водяного хладагента

Температура водяного хладагента на входе в машину или охладителя не должна превышать 25 °С и быть не ниже 5 °С.

6.6 Транспортирование и хранение

Если температура, ожидаемая при транспортировании, хранении или после установки, ниже указанной в 6.4, потребитель должен сообщить об этом изготовителю и указать ожидаемую минимальную температуру.

6.7 Чистота водородного хладагента

Машины с водородным охлаждением должны работать при номинальной мощности в номинальных условиях с хладагентом, содержащим не менее 95 % (об.) водорода.

Примечание – Для безопасности содержание водорода рекомендуется всегда поддерживать на уровне 90 % или более при условии, что другим газом, входящим в состав смеси, является воздух.

Для того чтобы вычислить КПД в соответствии с МЭК 60034-2, стандартный состав газообразной смеси должен быть следующим: 98 % водорода и 2 % воздуха по объему при заданных значениях давления и температуры охлаждающего газа, если не оговорено иное. Вентиляционные потери должны быть рассчитаны для соответствующей плотности.

7 Электрические условия эксплуатации

7.1 Электрическое питание

Для трехфазных машин переменного тока с частотой 50 Гц или 60 Гц, предназначенных для питания непосредственно от системы распределения или системы энергоснабжения, номинальные напряжения должны соответствовать МЭК 60038.

Примечание – Для крупных высоковольтных машин переменного тока напряжения могут быть выбраны, исходя из необходимости получения оптимальных рабочих характеристик.

Для двигателей переменного тока, питающихся от статических преобразователей, эти ограничения на напряжение, частоту и форму волны не применяются. В этом случае номинальные напряжения должны быть выбраны по соглашению сторон.

7.2 Форма и симметрия напряжений и токов

7.2.1 Двигатели переменного тока

7.2.1.1 Двигатели переменного тока, предназначенные для использования с источником электропитания установленной частоты, получаемой от генератора переменного тока (локально или через сеть электропитания), при работе на соответствующем напряжении питания должны иметь гармонический коэффициент напряжения (*HVF*), не превышающий:

– 0,02 – для однофазных двигателей и трехфазных двигателей, включая синхронные двигатели, кроме двигателей типа N (МЭК 60034-12), если изготовитель не устанавливает иное;

– 0,03 – для двигателя типа N.

HVF вычисляют по формуле

$$HVF = \sqrt{\sum_{n=2}^{k} \frac{u_n^2}{n}},$$

где u_n – гармоническое напряжение в относительных единицах (относительно номинального напряжения U_N);

n – число гармоник, не делимое на три в случае трехфазных двигателей переменного тока;

k = 13.

Трехфазные двигатели переменного тока должны быть пригодны для работы в трехфазной системе напряжений, имеющей составляющую обратной последовательности, не превышающую 1 % составляющей прямой последовательности за длительный период, или 1,5 % в течение короткого периода, не превышающего нескольких минут, и составляющую нулевой последовательности, не превышающую 1 % составляющей прямой последовательности.

Если предельные значения *HVF* и составляющей обратной последовательности, а также составляющей нулевой последовательности возникают одновременно при работе на номинальной нагрузке, это не должно привести к перегреву двигателя, и рекомендуется, чтобы превышения температуры или температура относительно предельных значений, установленных в настоящем стандарте, составляли не более 10 °С.

Примечание – При больших однофазных нагрузках (например, индукционные печи) и в сельских районах, особенно в случае смешанных промышленных и бытовых сетей, отклонение напряжения может быть выше указанных пределов. В таком случае необходимы специальные меры.

7.2.1.2 Двигатели переменного тока, питающиеся от статических преобразователей, должны допускать наличие высшей гармоники напряжения питания (см. МЭК 60034-17 для случая двигателей с короткозамкнутым ротором по МЭК 60034-12).

Примечание – Если напряжение питания имеет несинусоидальную форму, например от статических преобразователей, то действующее значение полного сигнала и основной составляющей существенны при определении характеристик машины переменного тока.

7.2.2 Генераторы переменного тока

Трехфазные генераторы переменного тока должны применяться для питания цепей, которые являются фактически неискажающими и симметричными:

a) при питании синусоидальным напряжением ни одно из мгновенных значений тока не должно отличаться от соответствующего гармонического коэффициента на 0,05;

b) при питании симметричной системой напряжений система токов является симметричной, т. е. ни одна из составляющих обратной и нулевой последовательности не превышает 5 % составляющей прямой последовательности.

HCF вычисляют по формуле

$$HCF = \sqrt{\sum_{n=2}^{k} i_n^2} ,$$

где i_n – отношение тока соответствующей гармоники к номинальному току;

n – число гармоник;

k = 13.

Если предельные значения искажений и компенсаций при работе на номинальной нагрузке достигаются одновременно, это не должно приводить к недопустимой для генератора температуре, и рекомендуется, чтобы превышение температуры относительно предельных значений, установленных в настоящем стандарте, составляло не более 10 °С.

7.2.3 Синхронные машины

Если не установлено иное, трехфазные синхронные машины должны быть способны к непрерывной работе на такой неуравновешенной системе, в которой ни с одним из фазных токов, превышающих номинальный ток, отношение составляющей обратной последовательности тока I_2 к номинальному току I_N не превышает значений из таблицы 2, и в аварийном режиме должны быть способны к работе при произведении I_2 / I_N^2 на время t, не превышающем значений, указанных в таблице 2.

Таблица 2 – Неуравновешенные рабочие условия для синхронных машин

Номер пункта	Тип машины	Максимальное значение I_2 / I_N для продолжительного режима работы	Максимальное значение $(I_2 / I_N)^2 t$ для работы в аварийном режиме, с
Машины с явнополюсным ротором			
1	Косвенное охлаждение обмоток:		
	двигатели	0,1	20
	генераторы	0,08	20
	синхронные компенсаторы	0,1	20
2	Непосредственное охлаждение (внутреннее охлаждение) статора и/или обмоток возбуждения:		
	двигатели	0,08	15
	генераторы	0,05	15
	синхронные компенсаторы	0,08	15

Окончание таблицы 2

Номер пункта	Тип машины	Максимальное значение I_2 / I_N для продолжительного режима работы	Максимальное значение $(I_2 / I_N)^2$ t для работы в аварийном режиме, с
Синхронные машины с неявнополюсным ротором			
3	Косвенное охлаждение обмоток ротора: воздушное охлаждение водородное охлаждение	 0,1 0,1	 15 10
4	Непосредственное охлаждение (внутреннее охлаждение) обмоток ротора: ≤ 350 МВ · А > 350 ≤ 900 МВ · А > 900 ≤ 1250 МВ · А > 1250 ≤ 1600 МВ · А	 0,08 См. примечание 1 См. примечание 1 0,05	 8 См. примечание 2 5 5

Примечания

1 Для этих машин значение I_2 / I_N вычисляют по формуле

$$\frac{I_2}{I_N} = 0{,}08 - \frac{S_N - 350}{3 \times 10^4}.$$

2 Для этих машин значение $(I_2 / I_N)^2 t$, с, вычисляют по формуле

$$(I_2 / I_N)^2 t = 8 - 0{,}00545\ (S_N - 350),$$

причем в обоих примечаниях S_N является номинальной кажущейся мощностью, МВ · А.

7.2.4 Двигатели постоянного тока, питающиеся от статических преобразователей энергии

При питании двигателя постоянного тока от статического преобразователя энергии пульсации напряжения и тока влияют на характеристики машины. Потери и превышение температуры увеличиваются, а коммутация значительно ухудшается по сравнению с двигателем постоянного тока, питающимся от источника энергии постоянного тока.

Поэтому двигатели с номинальной мощностью, превышающей 5 кВт, питающиеся от статического преобразователя энергии, необходимо изготовлять для эксплуатации при определенном электропитании и, если изготовитель двигателей сочтет необходимым, – с внешней индуктивностью, которая применяется для понижения пульсаций.

Питание от статического преобразователя энергии должно быть обозначено с помощью идентификационного кода следующим образом:

$$CCC - U_{aN} - f - L,$$

где CCC – идентификационный код схемы преобразователя согласно МЭК 60971;

U_{aN} – три или четыре цифры, обозначающие номинальное значение переменного напряжения на входных клеммах преобразователя, В;

f – две цифры, указывающие номинальную частоту на входе, Гц;

L – одна, две или три цифры, указывающие последовательную индуктивность, которая будет добавлена во внешнюю цепь якоря двигателя, мГн. Если это значение является нулевым, его опускают.

Двигатели с номинальной мощностью, не превышающей 5 кВт, вместо использования только с определенным типом статического преобразователя энергии могут использоваться с любым статическим преобразователем энергии с или без внешней индуктивности при условии, что номинальный коэффициент формы волны, на который двигатель рассчитан, не будет превышен и что уровень изоляции цепи якоря двигателя соответствует номинальному переменному напряжению на входных клеммах статического преобразователя мощности.

Во всех случаях пульсация тока от статического преобразователя энергии может быть такой низкой, что коэффициент пульсации не превышает 0,1 при номинальных условиях.

7.3 Изменение напряжения и частоты во время работы

Для машин переменного тока, спроектированных для использования с источником электропитания установленной частоты, питающихся от генератора переменного тока (локального или подключенного к сети электропитания), комбинации изменения напряжения и частоты классифицируются как относящиеся к зоне А или В в соответствии с рисунком 11 для генераторов и синхронных компенсаторов и рисунком 12 для двигателей.

Для машин постоянного тока, получающих питание непосредственно от сети, зоны А и В применяются только к напряжениям.

Машина должна выполнять свои основные функции, указанные в таблице 3, непрерывно в пределах зоны А, но нет необходимости в полном соответствии ее параметров характеристикам при номинальном напряжении и частоте (см. точку номинальных данных на рисунках 11 и 12), и могут обнаруживаться некоторые отклонения. Превышения температуры могут быть более высокими, чем при номинальном напряжении и частоте.

Машина должна выполнять свои основные функции в пределах зоны В, но может показывать более значительные отклонения от своих характеристик при номинальном напряжении и частоте, чем в зоне А. Превышения температуры могут быть более высокими, чем при номинальном напряжении и частоте и, наиболее вероятно, будут более высокими, чем те же значения в зоне А. Продолжительная работа по периметру зоны В не рекомендуется.

Примечания

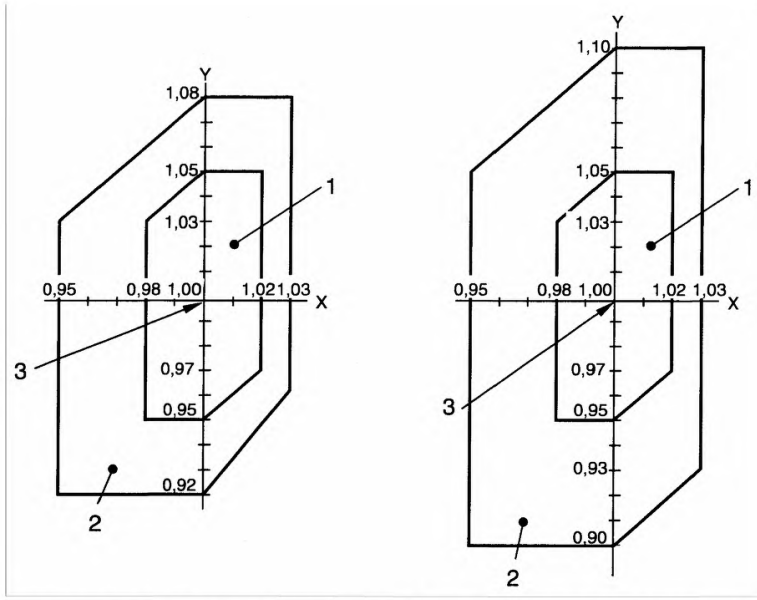
1 При практическом применении в рабочих условиях машина иногда может работать вне зоны А. Такие отклонения следует ограничивать по величине, продолжительности и частоте появления. Корректирующие меры следует принимать по возможности быстро, например путем понижения выходной мощности, что позволит избежать сокращения срока службы машины по условиям нагрева.

2 Предельные превышения температуры или предельные температуры в соответствии с настоящим стандартом относятся к точке номинальных данных и могут быть постепенно увеличены в зависимости от того, как рабочая точка отклоняется от точки номинальных данных. Для условий на крайних границах зоны А превышения температуры и сами температуры обычно превышают пределы, точно установленные в настоящем стандарте приблизительно на 10 °С.

3 Двигатель переменного тока может запускаться с нижнего предела напряжения только в случае, если его пусковой вращающий момент соответствует моменту сопротивления нагрузки, но это не является требованием настоящего пункта. Пусковые характеристики двигателей исполнения N – по МЭК 60034-12.

Таблица 3 – Основные функции машин

Номер пункта	Тип машины	Основная характеристика
1	Генератор переменного тока, кроме пункта 5 настоящей таблицы	Номинальная кажущаяся мощность (кВ · А) при номинальном коэффициенте мощности, где это регулируется отдельно
2	Двигатель переменного тока, кроме пунктов 3 и 5 настоящей таблицы	Номинальный вращающий момент (Н · м)
3	Синхронный двигатель, кроме пункта 5 настоящей таблицы	Номинальный вращающий момент (Н · м), возбуждение, поддерживающее либо номинальный поток, либо номинальный коэффициент мощности, где это регулируется отдельно
4	Синхронный компенсатор, кроме пункта 5 настоящей таблицы	Номинальная кажущаяся мощность (кВ · А) в пределах зоны, применимой к генератору (см. рисунок 11), если иначе не согласовано
5	Турбомашина с номинальной мощностью не менее 10 МВ · А	См. МЭК 60034-3
6	Генератор постоянного тока	Номинальная мощность (кВт)
7	Двигатель постоянного тока	Номинальный вращающий момент (Н · м), возбуждение двигателя последовательного возбуждения, поддерживающее номинальную частоту вращения, где это регулируется отдельно



Ось X – частота в относительных единицах; ось Y – напряжение в относительных единицах;
1 – зона А; 2 – зона В (за пределами зоны А); 3 – точка отсчета

Рисунок 11 – Пределы частоты и напряжений для генераторов

Рисунок 12 – Пределы частоты и напряжений для двигателей

7.4 Трехфазные машины переменного тока, работающие с незаземленными системами

Трехфазные машины переменного тока должны быть пригодны для непрерывной работы с потенциалом корпуса, равным или близким потенциалу земли. Они должны также быть пригодны для работы на незаземленных системах с одной фазой на потенциале земли в течение нечастых периодов короткой продолжительности, например при устранении повреждений. Если машина предназначена для продолжительной эксплуатации или в течение длительных периодов при этих условиях, то тогда требуется машина с уровнем изоляции, соответствующим этим условиям.

Если обмотка не имеет такой же изоляции провода и нейтральных концов, это должно быть заявлено изготовителем.

Примечание – Заземление или соединение нейтральных точек машины не должны быть использованы без консультации с изготовителем машины из-за опасности возникновения нулевой последовательности токов всех частот при некоторых условиях эксплуатации и из-за риска механического повреждения обмоток при обрыве цепи «линия – нейтраль».

7.5 Предельные уровни напряжения (пик и градиент)

Для двигателей переменного тока изготовитель должен оговорить предельное пиковое напряжение и предельный градиент напряжения при непрерывном режиме работы.

Для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором предельное пиковое напряжение и предельный градиент напряжения – по МЭК 60034-12 и МЭК 60034-17, для высоковольтных двигателей переменного тока – по МЭК 60034-15.

8 Тепловые характеристики и испытания

8.1 Классификация нагревостойкости

Классификация нагревостойкости в соответствии с МЭК 62114 должна основываться на характеристиках систем изоляции, используемых в машинах. Классификация нагревостойкости должна осуществляться посредством букв, а не значениями температуры.

Изготовитель машины несет ответственность за результаты испытаний на термостойкость по МЭК 60034-18.

Примечания

1 Классификация нагревостойкости новой системы изоляции не всегда определяется непосредственно нагревостойкостью составляющих ее материалов.

2 Продолжение использования существующих классификаций приемлемо, если они имеют опытное подтверждение.

8.2 Основной хладагент

Основной хладагент для данного метода охлаждения машины приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Основной хладагент

Номер пункта	Первичный хладагент	Охлаждение	Вторичный хладагент	Номер таблицы	Указанная в 5-й графе таблица задает пределы	Основной хладагент
1	2	3	4	5	6	7
1	Воздух	Косвенное	Не применяется	7	Предел превышения температуры	Окружающий воздух. Базовая температура 40 °С
2	Воздух	Косвенное	Воздух	7		
3	Воздух	Косвенное	Вода	7		Хладагент на входе в машину или обтекающая вода. Базовая температура охлаждающего газа на входе в машину 40 °С. Базовая температура обтекающей воды 25 °С (см. примечание)
4	Водород	Косвенное	Вода	8		
5	Воздух	Непосредственное	Не применяется	12	Предел температуры	Окружающий воздух. Базовая температура 40 °С
6	Воздух	Непосредственное	Воздух	12		
7	Воздух	Непосредственное	Вода	12	Предел температуры	Газ на входе в машину или жидкость, подводимая к обмоткам. Базовая температура 40 °С
8	Водород или жидкость	Непосредственное	Вода	12		
Примечание – Машина с косвенным охлаждением обмоток и охладителем с водяным охлаждением может нормально использоваться или с первичным, или со вторичным хладагентом в качестве основного хладагента (см. также 10.2 для информации, приведенной на паспортной табличке). Погружная машина с поверхностным охлаждением или машина с водяным охлаждающим кожухом могут нормально использоваться с вторичным хладагентом в качестве основного хладагента.						

Если используется третий хладагент, превышение температуры должно быть измерено относительно температуры первичного или вторичного хладагента, как определено в таблице 4.

Примечание – Машина и система охлаждения машины могут быть устроены так, что применяется более чем один пункт таблицы 3, в каждом случае различные основные хладагенты могут применяться для различных обмоток.

8.3 Условия проведения испытаний на нагрев

8.3.1 Система электропитания

В течение испытания на нагрев двигателя переменного тока гармонический коэффициент напряжения не должен превышать 0,015 и составляющая обратной последовательности системы напряжений должна быть меньше чем 0,5 % прямой последовательности из-за влияния составляющей нулевой последовательности.

В соответствии с соглашением составляющая обратной последовательности системы токов может быть измерена вместо составляющей обратной последовательности системы напряжений. Составляющая обратной последовательности системы токов не должна превышать 2,5 % составляющей прямой последовательности.

8.3.2 Температура машины перед испытанием

Если температура обмотки определяется по изменению сопротивления, то начальная температура обмотки не должна отличаться от температуры хладагента более чем на 2 °С.

Если машина испытывается при кратковременном режиме (режим работы S2), ее температура в начале испытания на нагревостойкость может отклоняться в пределах 5 °С от температуры хладагента.

8.3.3 Температура хладагента

Машина может быть испытана при любой допустимой температуре хладагента (см. таблицу 11 для обмоток с косвенным охлаждением или таблицу 14 для обмоток с непосредственным охлаждением).

8.3.4 Измерение температуры хладагента в процессе испытания

Значение, принимаемое за температуру хладагента в процессе испытания, должно быть средним значением показаний датчиков температуры, снятых через равные интервалы времени в течение последней четверти периода испытания. Чтобы уменьшить погрешность из-за отставания изменения температуры больших машин от изменения температуры хладагента, должны быть приняты все возможные меры для минимализации этих изменений.

8.3.4.1 Открытые или закрытые машины без охладителей (охлаждаемые окружающим воздухом или газом)

Температура окружающего воздуха или газа должна быть измерена посредством нескольких датчиков, помещенных в различных точках вокруг машины на расстоянии 1 – 2 м от нее. Каждый датчик должен быть защищен от теплового излучения и воздушных потоков.

8.3.4.2 Машины, охлаждаемые воздухом или газом от удаленных источников через вентиляционные каналы, и машины с отдельно установленными охладителями

Температура первичного хладагента должна быть измерена на входе в машину.

8.3.4.3 Закрытые машины со встроенными или установленными внутри охладителями

Температура первичного хладагента должна быть измерена на входе в машину. Температура вторичного хладагента должна быть измерена на входе в охладитель.

8.4 Превышение температуры части машины

Превышение температуры части машины $\Delta\Theta$ – разность между температурой этой части, измеренной каким-либо методом в соответствии с 8.5, и температурой хладагента, измеренной в соответствии с 8.3.4.

Для сравнения с пределами превышения температуры обмоток (см. таблицы 7 или 8) или температуры по таблице 12 температура, если возможно, должна быть измерена непосредственно перед выключением машины в конце испытания на нагревостойкость, как описано в 8.7.

Если это невозможно, например при использовании метода непосредственного измерения сопротивления, см. 8.6.2.3.

Для машин, проверяемых при периодических режимах работы (режимы от S3 до S8), температура в конце испытания должна быть принята, как в середине периода, в течение которого наибольший нагрев происходит в последнем цикле работы (с учетом 8.7.3).

8.5 Методы измерения температуры

8.5.1 Общие положения

Существует три метода измерения температуры обмоток и других частей:
– метод сопротивления;
– метод заложенных термопреобразователей;
– метод термометра.

Различные методы не должны использоваться для взаимного контроля.

Косвенные испытания – по МЭК 61986.

8.5.2 Метод сопротивления

Температура обмоток определяется в зависимости от увеличения сопротивления обмоток.

8.5.3 Метод заложенных термопреобразователей

Температура определяется посредством датчиков температуры (например, термосопротивления, термопары или полупроводниковых терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом), встроенных в машину в процессе изготовления в места, которые являются недоступными в собранной машине.

8.5.4 Метод термометра

Температура определяется термометрами, прикладываемыми к доступным поверхностям собранной машины. Термин «термометр» включает не только ртутные и спиртовые термометры, а также прикладываемые снаружи термопары и термометры сопротивления. Если ртутные и спиртовые термометры используются в местах, где есть сильное переменное или движущееся магнитное поле, применение спиртовых термометров предпочтительнее ртутных.

8.6 Определение температуры обмоток

8.6.1 Выбор метода

Для того чтобы измерить температуру обмоток машины, должен применяться метод сопротивления в соответствии с 8.5.1 (с учетом 8.6.2.3.3).

Для обмоток статора машин переменного тока, имеющих номинальную мощность более 5000 кВт (кВ · А), используется метод заложенных термопреобразователей.

Для машин переменного тока, имеющих номинальную мощность менее 5000 кВт (кВ · А), но более 200 кВт (кВ · А), изготовитель должен выбрать или метод сопротивления, или метод заложенных термопреобразователей, если не оговорено иное.

Для машин переменного тока, имеющих номинальную мощность не более 200 кВт (кВ · А), изготовитель должен выбрать метод непосредственного измерения или метод наложения для метода сопротивления (см. 8.6.2.1), если не оговорено иное.

Для машин, имеющих номинальную мощность не более 600 Вт (В · А), если обмотки неоднородны или если выполнение необходимых соединений связано с определенными трудностями, температура может быть определена посредством термометров. Пределы превышения температуры должны применяться в соответствии с таблицей 7.

Метод термометра применяется:

a) когда невозможно определить превышение температуры методом сопротивления, как например коммутирующих катушек малого сопротивления и компенсационных обмоток и в случае катушек малого сопротивления, особенно, когда сопротивление контактов составляет значительную часть полного сопротивления;

b) при наличии однослойных обмоток, вращающихся или неподвижных;

c) в процессе приемо-сдаточных испытаний на машинах, изготовленных в серийном производстве.

Для обмоток статора машин переменного тока, у которых только одна сторона секции находится в пазу статора, метод заложенных термопреобразователей не должен использоваться для того, чтобы подтвердить соответствие настоящему стандарту, а должен применяться метод сопротивления.

Примечание – Для контроля температуры таких обмоток во время эксплуатации заложенный на дне паза датчик малопригоден, потому что он регистрирует главным образом температуру сердечника. Датчик, помещенный между катушкой и пазовым клином, будет отслеживать температуру обмотки намного более близко к действительности, поэтому данный метод является предпочтительным. Поскольку температура может быть довольно низкой, соотношение между измеренной температурой и температурой, полученной методом сопротивления, рекомендуется определять при испытании на нагрев.

Для других обмоток, у которых одна сторона секции находится в пазу статора, и для обмоток лобовых частей метод заложенных термопреобразователей не должен использоваться для того, чтобы подтвердить соответствие настоящему стандарту.

Для обмоток якорей с коллекторами и для обмоток возбуждения, исключая обмотки возбуждения неявнополюсных роторов синхронных машин, методы сопротивления и термометра приемлемы. Метод сопротивления предпочтителен, но для многослойных обмоток машин постоянного тока может использоваться метод заложенных термопреобразователей.

8.6.2 Определение методом сопротивления

8.6.2.1 Измерения

Должен использоваться один из следующих методов:

– непосредственное измерение в начале и конце испытания, используя приборы, имеющие соответствующие пределы;

– измерение в обмотках машин постоянного тока: измеряют постоянные напряжение и ток, проходящий через обмотку, используя приборы, имеющие соответствующие пределы;

– измерение в обмотках машин постоянного тока: при выключенной машине по обмотке пропускают переменный ток;

– без прерывания переменного тока нагрузки на ток нагрузки накладывается небольшой измерительный постоянный ток в соответствии с МЭК 60279.

8.6.2.2 Вычисление

Превышение температуры $\Theta_2 - \Theta_a$ может быть получено из уравнения

$$\frac{\Theta_2 + k}{\Theta_1 + k} = \frac{R_2}{R_1},$$

где Θ_1 – температура обмотки (холодной) в момент измерения начального сопротивления, °С;

Θ_2 – температура обмотки в конце испытания на нагревостойкость, °С;

Θ_a – температура хладагента в конце испытания на нагревостойкость;

R_1 – сопротивление обмотки при температуре Θ_1 (холодной);

R_2 – сопротивление обмотки в конце испытания на нагревостойкость;

k – величина, обратная температурному коэффициенту сопротивления при температуре материала проводника 0 °С.

Для меди k = 235, для алюминия k = 225, если не определено иначе.

Для практических целей удобно использовать следующий вариант формулы

$$\Theta_2 - \Theta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1}(k + \Theta_1) + \Theta_1 - \Theta_a .$$

8.6.2.3 Корректировка измерений, проведенных после остановки

8.6.2.3.1 Общие положения

Измерение температур в конце теплового испытания методом непосредственного измерения сопротивления требует быстрой остановки машины в конце испытания. Поэтому требуется тщательно спланированная методика и соответствующая квалификация персонала.

8.6.2.3.2 Кратковременная остановка

Если начальное значение сопротивления получено в пределах временного интервала, установленного в таблице 5, то показание должно быть принято как измеренная температура.

Таблица 5 – Временной интервал

Номинальная мощность P_N, кВт (кВ · А)	Интервал времени после отключения электроэнергии, с
$P_N \le 50$	30
$50 < P_N \le 200$	90
$200 < P_N \le 5000$	120
$5000 < P_N$	По соглашению

8.6.2.3.3 Продолжительное время остановки

Если измерение сопротивления не может быть сделано во временном интервале, установленном в таблице 5, это должно быть сделано как можно скорее, но не позднее двукратного временного интервала, и дополнительные измерения сопротивления должны проводиться с интервалом, приблизительно равным 1 мин, пока эти измерения не начнут давать явное понижение относительно максимального значения. Кривая этих измерений должна быть построена как функция времени и экстраполироваться к временному интервалу для выходной мощности машины. Рекомендуется строить полулогарифмическую кривую, где температура откладывается по логарифмической шкале. Значение температуры, полученное таким образом, будет рассматриваться как температура при остановке. Если последовательные измерения показывают увеличение температуры после остановки, то должно быть принято наивысшее значение.

Если измерение сопротивления не может быть сделано в течение двойного временного интервала по отношению к установленному в таблице 5, этот метод должен использоваться только в соответствии с соглашением.

8.6.2.3.4 Однослойные обмотки

Для машин с однослойными обмотками метод непосредственного измерения сопротивления может использоваться, если машина находится в пределах временного интервала, указанного в таблице 5. Если машине для остановки требуется более 90 с, в соответствии с соглашением может использоваться метод наложения.

8.6.3 Определение методом заложенных термопреобразователей

8.6.3.1 Общие положения

Датчики должны быть равномерно распределены между обмотками, а число установленных датчиков должно быть не меньше шести.

Необходимо соблюдать меры безопасности при размещении датчиков в точках, где самая высокая температура, таким образом, чтобы они были надежно защищены от контакта с первичным хладагентом.

Должно использоваться самое высокое значение, получаемое от заложенных термопреобразователей, для определения температуры обмотки.

Примечание – Заложенные термопреобразователи или их соединения могут выходить из строя и давать неправильные показания. Если в результате одного или более измерений получают непостоянные показания, то после подтверждения этого соответствующие термопреобразователи могут быть удалены.

8.6.3.2 Многослойные обмотки

Датчики должны быть расположены между изолированными сторонами обмоток внутри паза в местах, где ожидаются самые высокие температуры.

8.6.3.3 Однослойные обмотки

Датчики должны быть расположены между пазовым клином и внешней частью изоляции в местах, где ожидаются самые высокие температуры (см. также 8.6.1).

8.6.3.4 Лобовые части обмоток

Датчики температуры должны быть расположены между двумя сторонами смежных секций внутри наружного ряда лобовых частей обмоток в местах, где ожидаются самые высокие температуры. Чувствительный элемент каждого датчика должен быть в непосредственном контакте с поверхностью секции и должен быть надежно защищен от воздействия хладагента (см. также 8.6.1).

8.6.4 Определение методом термометра

Когда используются незакладываемая термопара или термосопротивление, они не должны быть помещены в точки, не доступные для ртутных и спиртовых термометров.

Должны соблюдаться требования безопасности при размещении термометров в точках, где ожидаются самые высокие температуры (например, в лобовых частях обмоток близко к сердечнику), таким образом, чтобы они были эффективно защищены от контакта с первичным хладагентом и находились в хорошем термоконтакте с обмоткой или другой частью машины.

Должно быть принято самое высокое значение показаний любого термометра для температуры обмотки или другой части машины.

8.7 Продолжительность испытаний на нагрев

8.7.1 Номинальные данные для непрерывного режима работы

Испытание должно продолжаться до достижения теплового равновесия.

8.7.2 Номинальные данные для кратковременного режима

Продолжительность испытания равна времени в номинальном режиме работы.

8.7.3 Номинальные данные для периодического режима

Обычно номинальные данные для эквивалентной нагрузки, назначенной изготовителем (см. 5.2.6), применяются до достижения теплового равновесия. Если испытание при фактическом режиме работы согласовано, то должен применяться установленный цикл нагрузки, пока не будут получены практически одинаковые температурные циклы. Критерием этого является прямая линия между соответствующими точками последовательных рабочих циклов на графике температур, имеющая градиент меньше 2 °С/ч. Если необходимо, измерения должны быть проведены через определенные промежутки в течение некоторого времени.

8.7.4 Номинальные данные для непериодического режима и для режимов работы с дискретной постоянной нагрузкой

Номинальные данные для эквивалентной нагрузки, назначенной изготовителем (см. 5.2.6), применяются, пока не будет достигнуто тепловое равновесие.

8.8 Определение эквивалентной тепловой постоянной времени для машин, предназначенных для работы в режиме работы S9

Эквивалентная тепловая постоянная времени (с вентиляцией, как при нормальных условиях работы), пригодная для приблизительного определения изменения температур, может быть определена с помощью кривой охлаждения, построенной по 8.6.2.3. Постоянная времени равна 1,44-кратному (т. е. 1/ln 2) промежутку времени, необходимому машине для охлаждения, между моментом отключения двигателя и моментом достижения температуры, равной половине превышения температуры машины.

8.9 Измерение температуры подшипников

Может использоваться метод термометра или метод заложенных термопреобразователей.

Точка измерения должна располагаться как можно ближе к одному из двух мест, указанных в таблице 6.

Таблица 6 – Точки измерения

Тип подшипника	Точка измерения	Местоположение точки измерения
Шарико- или роликоподшипник	A	В корпусе и на расстоянии не более 10 мм[1)] от внешнего кольца подшипника[2)]
	B	На внешней поверхности корпуса как можно ближе к внешнему кольцу подшипника
Подшипники скольжения	A	В зоне давления вкладыша подшипника[3)] и на расстоянии не более 10 мм[1)] от масляной пленки[2)]
	B	В другом месте вкладыша подшипника

[1)] Расстояние измеряют до самой близкой точки заложенного термопреобразователя или колбы термометра.

[2)] В случае машины с «внешним ротором» точка A должна находиться на неподвижной части на расстоянии не более 10 мм от внутреннего кольца и точка B должна находиться на внешней поверхности неподвижной части как можно ближе к внутреннему кольцу.

[3)] Вкладыш подшипника – воспринимающая нагрузку часть подшипника, которая закреплена в корпусе. Зона давления – часть окружности, которая воспринимает массу ротора и радиальные нагрузки.

Тепловое сопротивление между датчиком температуры и объектом, температура которого должна быть измерена, должно быть минимизировано (например, воздушные зазоры должны быть заполнены теплопроводящей массой).

Примечание – Между точками измерения A и B так же, как между этими точками и самой горячей точкой подшипника, существует разность температур, которая зависит и от размеров подшипника. Для подшипников скольжения с запрессованными вкладышами и для шарико- и роликоподшипников с внутренним диаметром до 150 мм разность температур между точками A и B может считаться незначительной. Для больших подшипников разность температур между точками измерения A и B приблизительно 15 °C.

8.10 Пределы температуры и превышение температуры

Пределы даны для условий работы на месте эксплуатации, установленных в разделе 6, и при номинальных данных для продолжительного режима работы (исходные условия), следуя правилам для регулирования этих пределов при работе на месте эксплуатации при других условиях и на других мощностях. Кроме того, правила дают регулирование пределов в течение испытания на нагревостойкость, когда условия на месте испытания отличаются от условий на месте эксплуатации.

Пределы приведены относительно исходного хладагента, указанного в таблице 4.

Правило дается с учетом чистоты водородного хладагента.

8.10.1 Косвенное охлаждение обмоток

Превышения температуры при исходных условиях не должны выходить за пределы, указанные в таблице 7 (для воздушного хладагента) или в таблице 8 (водородный хладагент).

Для других рабочих условий эксплуатации, других номиналов, кроме непрерывного режима работы, и для номинальных напряжений более 12000 В пределы должны быть отрегулированы согласно таблице 9 (см. также таблицу 10 для предела температуры хладагента, которая дана в таблице 9).

В случае показаний термометра, выбранных в соответствии с 8.6.1, предел повышения температуры должен соответствовать таблице 7.

Если для обмоток, косвенно охлаждающихся воздушным путем, условия на месте испытания отличаются от рабочих условий, отрегулированные пределы, указанные в таблице 11, должны применяться на месте испытания.

Если отрегулированные пределы, данные в таблице 11, приводят к допустимым температурам на месте испытания, которые изготовитель рассматривает как чрезмерные, процедура испытания и пределы должны быть согласованы.

Никакое регулирование на месте испытания не приводят для обмоток, косвенно охлаждаемых водородом, потому что очень маловероятно, что они будут проверены при номинальной нагрузке где-нибудь в другом месте, кроме как на месте эксплуатации.

Таблица 7 – Пределы превышения температуры обмоток при внешнем охлаждении воздухом

Номер пункта	Часть машины	Предел превышения температуры обмоток для класса нагревостойкости								
		130 (B)			155 (F)			180 (H)		
		и метода измерения								
		Th, °C	R, °C	ETD, °C	Th, °C	R, °C	ETD, °C	Th, °C	R, °C	ETD, °C
1a)	Обмотки машин переменного тока мощностью не менее 5000 кВт (кВ · А)	–	80	85[1)]	–	100	115[1)]	–	125	130[1)]
1b)	Обмотки машин переменного тока мощностью более 200 кВт (кВ · А), но менее 5000 кВт (кВ · А)	–	80	90[1)]	–	105	115[1)]	–	125	135[1)]
1c)	Обмотки машин переменного тока мощностью до 200 кВт (кВ · А), отличные от описанных в пунктах 1d) или 1e) [2)]	–	80	–	–	105	–	–	125	–
1d)	Обмотки машин переменного тока, номинальные мощностью менее 600 Вт (В · А) [2)]	–	85	–	–	110	–	–	130	–
1e)	Обмотки переменного тока с воздушным охлаждением без вентилятора (IC 40) и/или с капсулированными обмотками	–	85	–	–	110	–	–	130	–
2	Обмотки якоря, имеющего коллектор	70	80	–	85	105	–	105	125	–
3	Обмотки возбуждения машин переменного и постоянного тока, отличающиеся от пункта 4	70	80	–	85	105	–	105	125	–
4a)	Обмотки возбуждения синхронных машин с цилиндрическим ротором, имеющие обмотки возбуждения постоянного тока, уложенные в пазы, кроме синхронизированных асинхронных двигателей	–	90	–	–	110	–	–	135	–
4b)	Изолированные постоянные обмотки возбуждения машин постоянного тока, имеющие более одного слоя	70	80	90	85	105	110	105	125	135

Окончание таблицы 7

Номер пункта	Часть машины	Предел превышения температуры обмоток для класса нагревостойкости								
		130 (B)			155 (F)			180 (H)		
		и метода измерения								
		Th, °C	R, °C	ETD, °C	Th, °C	R, °C	ETD, °C	Th, °C	R, °C	ETD, °C
4c)	Обмотки возбуждения с низким сопротивлением для машин переменного и постоянного тока, имеющие более одного слоя и компенсационные обмотки для машин постоянного тока	80	80	–	100	100	–	125	125	–
4d)	Однослойные обмотки машин переменного или постоянного тока с незащищенными или лакированными металлическими поверхностями[3)]	90	90	–	110	110	–	135	135	–

[1)] Этот пункт может быть применим для высоковольтных машин переменного тока (см. таблицу 9, пункт 4).

[2)] При применении метода наложения к обмоткам машин номинальной мощностью не более 200 кВт (кВ · А) или менее с классами нагревостойкости 130 (B) и 155 (F) пределы превышения температуры, данные для метода сопротивления, могут быть превышены на 5 °С.

[3)] Также включает многослойные обмотки при условии, что каждый из нижних слоев находится в контакте с циркулирующим первичным хладагентом.

Примечание – Th – метод термометра; R – метод сопротивления; ETD – заложенным термопреобразователем.

Таблица 8 – Пределы превышения температуры обмоток, косвенно охлаждаемых водородом

Номер пункта	Часть машины	Предел превышения температуры обмоток для класса нагревостойкости			
		130 (B)		150 (F)	
		и метода измерения			
		сопротивления, °C	ETD, °C	сопротивления, °C	ETD, °C
1	Обмотки машин переменного тока, имеющих мощности от 5000 кВт (кВ · А) или с длиной сердечника от 1 м и более Абсолютное давление водорода[2)] ≤ 150 кПа (1,5 бар) > 150 кПа ≤ 200 кПа (2,0 бар) > 200 кПа ≤ 300 кПа (3,0 бар) > 300 кПа ≤ 400 кПа (4,0 бар) > 400 кПа	 – – – – –	 85[1)] 80[1)] 78[1)] 73[1)] 70[1)]	 – – – – –	 105[1)] 100[1)] 98[1)] 93[1)] 90[1)]
2a)	Обмотки машин переменного тока, имеющих мощности менее 5000 кВт (кВ · А), или с длиной сердечника менее 1 м	80	85[1)]	100	110[1)]
2b)	Обмотки возбуждения машин переменного и постоянного тока, кроме указанных в пунктах 3 и 4	80	–	105	–
3	Обмотки возбуждения турбомашины с возбуждением постоянным током	85	–	105	–
4a)	Обмотки возбуждения малого сопротивления, имеющие несколько слоев и компенсационные обмотки	80	–	100	–

Окончание таблицы 8

Номер пункта	Часть машины	Предел превышения температуры обмоток для класса нагревостойкости			
		130 (B)		150 (F)	
		и метода измерения			
		сопротивления, °C	ETD, °C	сопротивления, °C	ETD, °C
4b)	Однослойные обмотки с незащищенными или лакированными металлическими поверхностями[3)]	80	–	110	–

[1)] К этим пунктам может быть применимо регулирование для высоковольтных машин переменного тока (см. таблицу 9, пункт 4).

[2)] Это единственный пункт, где предел превышения температуры зависит от давления водорода.

[3)] Также включает многослойные обмотки возбуждения при условии, что каждый из нижних слоев соприкасается с циркулирующим первичным хладагентом.

Примечание – ETD – заложенным термопреобразователем.

Таблица 9 – Поправки пределов превышения температуры на месте эксплуатации при косвенном охлаждении обмоток, принимая во внимание рабочие или номинальные условия

Номер пункта	Рабочее или номинальное условие		Поправка к пределу превышения температуры ($\Delta\Theta$) в таблицах 7 и 8
1a)	Максимальная температура окружающего воздуха или охлаждающего газа на входе в машину Θ_c и для высоты над уровнем моря 1000 м. Если разница между классом нагревостойкости и измеряемым пределом температуры, состоящим из базовой температуры холодного хладагента 40 °C и предела превышения температуры в соответствии с таблицами 7 и 8, не более 5 °C. Для больших высот 40 °C заменяют на значение таблицы 10	0 °C ≤ Θ_c ≤ 40 °C	Увеличивают на число, на которое температура хладагента меньше чем 40 °C
1b)	Максимальная температура окружающего воздуха или охлаждающего газа на входе в машину Θ_c и для высоты над уровнем моря до 1000 м. Если разница между классом нагревостойкости и измеряемым пределом температуры, состоящим из базовой температуры холодного хладагента 40 °C и предела превышения температуры в соответствии с таблицами 7 и 8, не более 5 °C. Для больших высот 40 °C заменяют на значение таблицы 10	0 °C ≤ Θ_c ≤ 40 °C	Может быть увеличено до температуры хладагента не менее 40 °C, но это значение уменьшается на коэффициент $1 - \frac{\textit{класс нагревостойкости} - (40\ ^\circ\text{C} + \textit{lim.tmp})}{80\ ^\circ\text{C}}$, где *lim. tmp* равен пределу превышения температуры в соответствии с таблицами 7 или 8 для температуры холодного хладагента 40 °C

Окончание таблицы 9

Номер пункта	Рабочее или номинальное условие		Поправка к пределу превышения температуры ($\Delta\Theta$) в таблицах 7 и 8
1c)		40 °C < Θ_c ≤ 60 °C	Уменьшается на значение превышения температуры хладагента относительно 40 °C
1d)		Θ_c < 0 °C или Θ_c > 60 °C	В соответствии с соглашением
2	Максимальная температура воды на входе в теплообменники с водяным охлаждением Θ_W или максимальная температура обтекающей воды для погружаемых машин с поверхностным охлаждением или с охлаждающей оболочкой	5 °C ≤ Θ_W ≤ 25 °C	Увеличение на 15 °C. Далее возможно увеличение, при котором температура хладагента меньше 25 °C
		Θ_W > 25 °C	Увеличение на 15 °C и уменьшение до значения, при котором максимальная температура охлаждающей воды превышает 25 °C
3	Высота над уровнем моря *H*	1 000 м < *H* ≤ 4 000 м, максимальная температура окружающего воздуха не задана	Поправку не вносят. Это предполагает, что охлаждение в зависимости от высоты компенсируется при понижении максимальной температуры окружающей среды ниже 40 °C и что суммарная температура поэтому не будет превышать 40 °C плюс превышение температуры из таблиц 7 и 8[1)]
		H > 4 000 м	В соответствии с соглашением
4	Номинальное напряжение в обмотках статора U_N	12 кВ < U_N ≤ 24 кВ	$\Delta\Theta$ для заложенных термопреобразователей (метод заложенных термопреобразователей) должна быть понижена на 1 °C на каждый интервал в 1 кВ (или часть интервала) от 12 до 24 кВ (включительно)
		U_N > 24 кВ	В соответствии с соглашением
5[2)]	Номинальные данные для кратковременного режима (S2) с номинальной мощностью менее 5000 кВт (кВ · А)		Увеличивают на 10 °C
6[2)]	Номинальные данные для непериодического режима (S9)		$\Delta\Theta$ может быть превышено в течение коротких периодов во время работы машины
7[2)]	Номинальные данные для режима работы с дискретными нагрузками (S10)		$\Delta\Theta$ может быть превышено в течение дискретных периодов во время работы машины

[1)] Если принять необходимое уменьшение температуры окружающей среды равным 1 % предела превышения температуры на каждые 100 м высоты для высот более чем 1000 м, максимальная температура окружающего воздуха на месте эксплуатации должна быть взята из таблицы 10.

[2)] Только для обмоток с воздушным охлаждением.

Таблица 10 – Принимаемая максимальная температура окружающей среды

Высота над уровнем моря, м	Температура, °C, для класса нагревостойкости		
	130 (B)	155 (F)	180 (H)
1000	40	40	40
2000	32	30	28
3000	24	19	15
4000	16	9	3

8.10.2 Обмотки с непосредственным охлаждением

Температуры при исходных условиях не должны превышать пределы, указанные в таблице 12.

Для других условий работы пределы должны быть отрегулированы согласно таблице 13.

Если условия на месте испытания отличаются от рабочих условий, установленные пределы, указанные в таблице 14, должны применяться для места испытания.

Если отрегулированные пределы, указанные в таблице 14, относятся к температурам на месте испытания, которые изготовитель рассматривает как чрезмерные, процедура испытания и пределы должны быть согласованы.

8.10.3 Регулирование с учетом чистоты водорода при испытании

Для обмоток с непосредственным или косвенным охлаждением водородом никакое регулирование не должно применяться к пределам превышения температуры или суммарной температуры, если содержание водорода в хладагенте составляет от 95 % до 100 %.

8.10.4 Постоянно короткозамкнутые обмотки, магнитные сердечники и все составные части (кроме подшипников), которые могут находиться в контакте с изоляцией

Превышение температуры или температура постоянно короткозамкнутых обмоток, магнитных сердечников и всех составных частей (кроме подшипников), которые могут находиться в контакте с изоляцией, не должны ухудшать изоляцию этих частей или любой другой смежной части.

8.10.5 Открытые или защищенные коллекторы и контактные кольца, щетки и щеткодержатели

Превышение температуры или температура коллектора, контактного кольца, щетки или щеткодержателя не должны ухудшать изоляцию этих частей или других смежных частей.

Превышение температуры или температура коллектора или контактного кольца не должно превышать значения, при котором сочетание марки материала щетки и коллектора или контактного кольца может дать избыточный ток относительно рабочего диапазона.

Таблица 11 – Отрегулированные пределы превышения температуры на месте испытания ($\Delta\Theta_T$) для обмоток, косвенно охлаждаемых воздушным путем, с учетом рабочих условий места испытания

Номер пункта	Условие испытания		Отрегулированный предел для места испытания $\Delta\Theta_T$
1	Разность исходных температур хладагента на месте испытания Θ_{cT} и месте эксплуатации Θ_c	Абсолютная величина $(\Theta_c - \Theta_{cT}) \le 30$ °C	$\Delta\Theta_T = \Delta\Theta$
		Абсолютная величина $(\Theta_c - \Theta_{cT}) > 30$ °C	В соответствии с соглашением
2	Разность высот над уровнем моря на месте испытания H_T и месте эксплуатации H	1000 м < $H \le$ 4000 м $H_T <$ 1000 м	$\Delta\Theta_T = \Delta\Theta\left(1 - \frac{H - 1000\text{ м}}{10000\text{ м}}\right)$
		$H <$ 1000 м 1000 м < $H_T \le$ 4000 м	$\Delta\Theta_T = \Delta\Theta\left(1 + \frac{H_T - 1000\text{ м}}{10000\text{ м}}\right)$
		1000 м < $H \le$ 4000 м 1000 м < $H_T \le$ 4000 м	$\Delta\Theta_T = \Delta\Theta\left(1 + \frac{H_T - H}{10000\text{ м}}\right)$
		$H >$ 4000 м или $H_T >$ 4000 м	В соответствии с соглашением

Примечания

1 $\Delta\Theta$ приведено в таблице 7 и регулируется, если необходимо, в соответствии с таблицей 9.

2 Если измеренное превышение температуры выше температуры воды на входе в охладитель, влияние высоты на разность температур между воздухом и водой должно быть учтено. Для большинства конструкций охладителей эффект будет мал, а разность будет расти примерно на 2 °C с увеличением высоты на каждые 1000 м. Если регулирование необходимо, оно должно осуществляться в соответствии с соглашением.

Таблица 12 – Пределы температуры непосредственно охлаждаемых машин и их хладагентов

Номер пункта	Часть машины	Предел превышения температуры обмоток для класса нагревостойкости					
		130 (B)			155 (F)		
		и метода измерения					
		термометра, °C	сопротивления, °C	ETD, °C	термометра, °C	сопротивления, °C	ETD, °C
1	Хладагент на выходе обмоток переменного тока с независимым охлаждением. Эти температуры предпочтительны для значений, данных в пункте 2 как основа для номинальных данных						
1a)	Газ (воздух, водород, гелий и т. д.)	110	–	–	130	–	–
1b)	Вода	90	–	–	90	–	–
2	Обмотки переменного тока						
2a)	Охлаждение газом	–	–	120 Примечание 1	–	–	145 Примечание 1
2b)	Охлаждение жидкостью						
3	Обмотки возбуждения турбомашин						
3a)	Охлаждение газом, выходящим из ротора при следующем количестве выходных зон (примечание 2)						
	1 и 2	–	100	–	–	115	–
	3 и 4	–	105	–	–	120	–
	6	–	110	–	–	125	–
	От 8 до 14	–	115	–	–	130	–
	Свыше 14	–	120	–	–	135	–
3b)	Охлаждаемые жидкостью	Соблюдение максимальной температуры хладагента, приведенной в пункте 1b), дает гарантию, что наиболее часто встречающаяся температура обмоток не превысит допускаемых значений					
4	Обмотки возбуждения машин переменного и постоянного тока, имеющих возбуждение постоянным током, иные, чем в пункте 3						
4a)	Охлаждаемые газом	–	130	–	–	150	–
4b)	Охлаждаемые жидкостью	Соблюдение максимальной температуры хладагента, приведенной в пункте 1b), дает гарантию, что наиболее часто встречающаяся температура обмоток не превысит допускаемых значений					

Примечания

1 Регулирование не осуществляется для высоковольтных обмоток переменного тока; в этом случае необходимо обратиться к таблице 13, пункт 2.

2 Вентиляция ротора характеризуется числом радиальных выходных зон по всей длине ротора. Специальные зоны выхода охладителя в лобовых частях обмоток рассматриваются как один выход для каждого конца. Общие зоны выхода двух противоположно направленных потоков хладагента должны рассматриваться как две зоны.

Таблица 13 – Регулирование пределов температуры на месте эксплуатации для обмоток с непосредственным охлаждением воздухом или водородом с учетом неначальных рабочих условий и номинальных данных

Номер пункта	Рабочее или номинальное условие		Условие регулирования предела температуры по таблице 12
1	Исходный уровень температуры хладагента Θ_c	0 °C ≤ Θ_c ≤ 40 °C	Уменьшение разности между 40 °C и Θ_c. В соответствии с соглашением меньшее понижение может применяться при условии, что для Θ_c < 10 °C понижение равно разности между 10 °C и Θ_c.
		40 °C < Θ_c ≤ 60 °C	Не регулируется
		Θ_c < 0 °C или Θ_c > 60 °C	В соответствии с соглашением
2	Номинальное напряжение обмотки статора U_N	U_N > 11 кВ	Не регулируется. Тепловой поток проходит в основном к хладагенту из проводников, а не сквозь основную изоляцию обмотки

Таблица 14 – Отрегулированные пределы температуры на месте испытания Θ_T для обмоток, непосредственно охлаждаемых воздушным путем, с учетом рабочих условий на месте испытания

Номер пункта	Условие испытания		Отрегулированный предел температуры на месте испытания $\Delta\Theta_T$
1	Разность исходных температур на месте испытания Θ_{cT} и месте эксплуатации Θ_c	Абсолютная величина ($\Theta_c - \Theta_{cT}$) ≤ 30 °C	$\Theta_T = \Theta$
		Абсолютная величина ($\Theta_c - \Theta_{cT}$) > 30 °C	В соответствии с соглашением
2	Разность высот над уровнем моря места испытания H_T и места эксплуатации H	1000 м < H ≤ 4000 м H_T < 1000 м	$\Theta_T = (\Theta - \Theta_c)\left(1 - \frac{H - 1000\ \text{м}}{10000\ \text{м}}\right) + \Theta_{cT}$
		H < 1000 м 1000 м < H_T ≤ 4000 м	$\Theta_T = (\Theta - \Theta_c)\left(1 + \frac{H_T - 1000\ \text{м}}{10000\ \text{м}}\right) + \Theta_{cT}$
		1000 м < H ≤ 4000 м 1000 м < H_T ≤ 4000 м	$\Theta_T = (\Theta - \Theta_c)\left(1 + \frac{H_T - H}{10000\ \text{м}}\right) + \Theta_{cT}$
		H > 4000 м или H_T > 4000 м	В соответствии с соглашением
Примечание – Θ дается в таблице 12 и регулируется, если необходимо, в соответствии с таблицей 13.			

9 Прочие характеристики и испытания

9.1 Приемо-сдаточные испытания

Приемо-сдаточные испытания – это всегда заводские испытания. Приемо-сдаточные испытания следует проводить только на машинах, которые собраны и подготовлены к работе на производстве. Допускается отсутствие компонентов, которые не являются важными для проведения испытания. Приемо-сдаточным испытаниям не подвергают машины, которые при испытаниях холостого хода соединяют с синхронными машинами.

Минимальная программа приемо-сдаточных испытаний представлена в таблице 15 и распространяется на машины с номинальной мощностью не более 20 МВт (МВ · А). Дополнительные приемо-сдаточные испытания могут быть проведены, главным образом, на машинах номинальной мощностью свыше 200 кВт (кВ · А). Понятие синхронные машины включает и машины с постоянными магнитами.

Для машин постоянного тока в зависимости от размера и исполнения коммутационное испытание при нагрузке может быть проведено как контрольное испытание.

Таблица 15 – Минимальная программа приемо-сдаточных испытаний

Номер испытания	Вид испытания	Асинхронные машины (включая синхронизированные асинхронные двигатели)[1]	Синхронные машины		Машины постоянного тока с независимым или параллельным возбуждением
			Двигатели	Генераторы	
1	Сопротивление обмоток (в холодном состоянии)	Да	Да		Да
2	Потери без нагрузки и ток	Да	–		–
3a)	Потери без нагрузки на единицу коэффициента мощности[2]	–	Да[3]		–
3b)	Ток возбудителя на холостом ходу при номинальном напряжении для испытания холостого хода[2]	–	Да[3]		–
4	Ток возбудителя при номинальной частоте вращения и номинальном напряжении якоря	–	–		Да
5	Вторичное наводимое напряжение на холостом ходу при заторможенном роторе[4]	Да	–		–
6a)	Направление вращения	Да	Да	–	Да
6b)	Последовательность фаз	–	–	Да	–
7	Проверка электрической прочности изоляции по 9.2	Да	Да		Да

[1] МЭС 411-33-04.
[2] Включая машины с постоянными магнитами.
[3] Испытания 3a) и 3b) являются взаимоисключающими. Проводится только одно из этих испытаний.
[4] Из соображений безопасности испытание должно быть проведено при пониженном напряжении.

9.2 Проверка электрической прочности изоляции

Испытательное напряжение должно быть приложено между испытуемыми обмотками и корпусом машины, с которым соединены магнитопровод и обмотки, не подвергаемые испытанию. Это испытание следует проводить только на новой и полностью собранной машине при условиях, аналогичных нормальным условиям эксплуатации, и должно быть выполнено у изготовителя или после монтажа на месте. Когда проводится испытание на нагрев, проверка электрической прочности изоляции должна быть выполнена сразу после этого испытания.

Для многофазных машин номинальным напряжением более 1 кВ, когда доступны по отдельности оба вывода каждой фазы, испытательное напряжение следует прикладывать между каждой фазой и корпусом, с которым соединены магнитопровод, другие фазы и обмотки, не подвергающиеся испытанию.

Кроме тех случаев, которые перечислены ниже, испытательное напряжение должно иметь промышленную частоту и быть практически синусоидальным. Полное значение испытательного напряжения должно быть в соответствии с таблицей 16. Таким образом, для машин с номинальным напряжением не менее 6 кВ, если промышленная частота оборудования не определена, в соответствии с соглашением испытание при постоянном напряжении может быть проведено при напряжении в 1,7 раз большем, чем указанное в таблице 16.

Примечание – Признано, что в течение испытания на постоянном токе, поверхностный потенциал распространяется вдоль изоляции концевой обмотки и механизм старения отличается от тех, которые встречаются в течение испытания на переменном токе.

Испытание должно быть начато с напряжения, не превышающего половину полного испытательного напряжения. Затем напряжение должно быть увеличено до полного значения плавно или ступенями, не превышающими 5 % полного значения; время увеличения напряжения с половины до полного значения не должно превышать 10 с. Полное испытательное напряжение должно поддерживаться в течение 1 мин в соответствии со значением, приведенным в таблице 14. В течение этого периода не должно быть никаких пробоев (МЭК 60060-1).

В программе испытания машин серийного производства мощностью до 200 кВт (кВ · А) и номинальным напряжение $U_N \leq 1$ кВ испытание в течение 1 мин может быть заменено испытанием в течение примерно 1 с при испытательном напряжении, составляющем 120 % указанного в таблице 16.

Высоковольтное испытание полным напряжением, проводимое на обмотках при приемке, не следует повторять. Если проводят повторное испытание по требованию потребителя, то производят, при необходимости, сушку и испытывают обмотку напряжением, равным 80 % напряжения, указанного в таблице 16.

Для определения испытательного напряжения (см. таблицу 16) для двигателей постоянного тока, снабженных статическими промышленными преобразователями, следует использовать наибольшие значения прямого напряжения двигателя или среднеквадратичного значения фазного номинального переменного напряжения на входных зажимах статического преобразователя электроэнергии.

Полностью перемотанные обмотки должны быть проверены при полном испытательном напряжении, как для новых машин.

Если потребитель и производитель ремонта договорились выполнить испытания на электрическую прочность в случаях частичной перемотки обмоток или в случае другого ремонта машины, рекомендуется следующая процедура:

a) частично перемотанные обмотки испытывают напряжением, равным 75 % испытательного напряжения для новой машины. Перед испытанием старая часть обмотки должна быть тщательно очищена и высушена;

b) отремонтированные машины после очистки и сушки подвергают испытанию напряжением, равным 1,5-кратному номинальному напряжению, с минимальным значением 1000 В, если номинальное напряжение не менее 100 В, и с минимальным значением 500 В, если номинальное напряжение менее 100 В.

Таблица 16 – Испытания на электрическую прочность изоляции

Номер пункта	Машина или ее часть	Испытательное напряжение (действующее значение)
1	Изолированные обмотки вращающихся машин номинальной мощностью менее 1 кВт (кВ · А) и номинальным напряжением менее 100 В, за исключением указанных в пунктах 4 – 8	500 В плюс двукратное номинальное напряжение
2	Изолированные обмотки вращающихся машин номинальной мощностью менее 10000 кВт (кВ · А), за исключением указанных в пункте 1 и пунктах 4 – 8 (примечание 2)	1000 В плюс двукратное номинальное напряжение, но не менее 1500 В (примечание 1)
3	Изолированные обмотки вращающихся машин номинальной мощностью не менее 10000 кВт (кВ · А), за исключением указанных в пунктах 4 – 8 (примечание 2) Номинальное напряжение (примечание 1): – до 24000 В включ. – св. 24000 В	 1000 В плюс двукратное номинальное напряжение По согласованию
4	Обмотки независимого возбуждения машин постоянного тока	1000 В плюс двукратное максимальное номинальное напряжение цепи, но не менее 1500 В
5	Обмотки возбуждения синхронных генераторов, синхронных двигателей и синхронных компенсаторов	
5a)	Номинальное напряжение возбуждения: – до 500 В включ. – св. 500 В	 Десятикратное номинальное напряжение возбуждения не менее 1500 В 4000 В плюс двукратное номинальное напряжение возбуждения

Продолжение таблицы 16

Номер пункта	Машина или ее часть	Испытательное напряжение (действующее значение)
5b)	Машина, пуск которой осуществляется с обмоткой возбуждения, замкнутой накоротко или на сопротивление со значением меньше, чем десятикратное сопротивление обмотки	Десятикратное номинальное напряжение возбуждения не менее 1500 В и не более 3500 В
5c)	Машина, пуск которой осуществляется или с обмоткой возбуждения, замкнутой на сопротивление, не менее десятикратного сопротивления обмотки, или с разомкнутыми обмотками возбуждения с секционированием обмоток или без него	1000 В плюс двукратное максимальное действующее значение напряжения, которое может быть при заданных условиях пуска между зажимами обмотки возбуждения, или в случае секционированной обмотки возбуждения – между зажимами любой секции не менее 1500 В (примечание 3)
6	Вторичные (обычно роторные) обмотки асинхронных двигателей или синхронизированных асинхронных двигателей, если не замкнутые постоянно накоротко (например, предназначенные для реостатного пуска)	
6a)	Для нереверсивных двигателей или двигателей, реверсируемых только из неподвижного состояния	1000 В плюс двукратное напряжение разомкнутой цепи в состоянии покоя, измеренное между контактными кольцами или выводами вторичной обмотки при номинальном напряжении, приложенном к первичным обмоткам
6b)	Для двигателей, допускающих реверсирование или торможение посредством реверсирования первичного электропитания во время работы двигателя	1000 В плюс четырехкратное вторичное напряжение разомкнутой цепи в неподвижном состоянии, как определено в пункте 6a)
7	Возбудители (за исключением указанных ниже) Исключение 1. Возбудители синхронных двигателей (включая синхронизированные асинхронные двигатели), если во время пуска они заземлены или отключены от обмоток возбуждения. Исключение 2. Обмотки независимого возбуждения возбудителей (см. пункт 4)	Так же, как для обмоток, с которыми они соединены 1000 В плюс двукратное номинальное напряжение возбудителя не менее 1500 В
8	Электрически связанные машины и аппараты	Следует по возможности избегать повторения испытаний по пунктам 1 – 7, но если испытание выполнено на группе машин и аппаратов, каждый из которых предварительно проходил испытание на электрическую прочность изоляции, испытательное напряжение, которое применяется к такому электрически связанному устройству, должно быть 80 % самого низкого испытательного напряжения, соответствующего любой отдельной части устройства (примечание 4)

Окончание таблицы 16

Номер пункта	Машина или ее часть	Испытательное напряжение (действующее значение)
9	Устройства, которые вступают в физический контакт с обмотками, например температурные датчики, должны испытываться на машинах в корпусе. Во время испытания электрической прочности изоляции все устройства, которые вступают в физический контакт с обмотками, должны быть соединены с корпусом машины	1500 В

Примечания

1 Для двухфазных обмоток, имеющих один общий вывод, напряжение в формуле должно быть самым высоким среднеквадратичным напряжением, возникающим между любыми двумя выводами во время работы.

2 Испытания на электрическую прочность машин с изоляцией разных типов определяются по соглашению.

3 Напряжение между выводами обмотки возбуждения или на секциях при установленных условиях пуска может быть измерено при любом пониженном напряжении питания. Напряжение, измеренное таким образом, должно быть умножено на отношение полного напряжения питания при пуске к напряжению питания при испытании.

4 Для обмоток одной или более машин, связанных вместе электрически, расчетным напряжением является максимальное напряжение, установившееся относительно земли.

9.3 Случайные перегрузки по току

9.3.1 Общие положения

Способность выдерживать перегрузки по току для вращающихся машин приводится для согласования этих машин с управляющими и защитными устройствами. Испытания для подтверждения этих способностей не являются требованиями настоящего стандарта. Тепловой эффект в обмотках машины изменяется, приблизительно как произведение времени и квадрата тока. Повышенная температура является следствием значения тока сверх номинального. Если иное не согласовано, предполагается, что машина не будет использоваться при перегрузках по току, установленных для больше, чем нескольких коротких периодов, в течение срока службы машины. Если машина переменного тока используется как генератор и как двигатель, то ее способность выдерживать перегрузки по току должна быть предметом соглашения.

Примечание – Для способности синхронных машин относительно случайной составляющей обратной последовательности тока при условиях отказа см. 7.2.3.

9.3.2 Генераторы

Генераторы переменного тока, имеющие номинальные мощности, не превышающие 1200 МВ · А, должны выдерживать ток, равный 1,5-кратному номинальному току в течение не менее 30 с.

Генераторы переменного тока, имеющие номинальные мощности более чем 1200 МВ · А, должны выдерживать ток, равный 1,5-кратному номинальному току в течение периода, который должен быть согласован, но этот период должен быть не менее чем 15 с.

9.3.3 Двигатели переменного тока (кроме коллекторных двигателей)

Трехфазные двигатели переменного тока, имеющие номинальные мощности, не превышающие 315 кВт, и номинальные напряжения, не превышающие 1 кВ, должны выдерживать ток, равный 1,5-кратному номинальному току в течение не менее чем 2 мин.

Примечание – Для трехфазных двигателей, имеющих номинальные мощности более чем 315 кВт, и всех однофазных двигателей переменного тока случайные перегрузки по току не устанавливают.

9.3.4 Коллекторные машины

Коллекторная машина должна выдерживать в течение 60 с 1,5-кратное превышение тока при следующем сочетании условий:

а) частота вращения:

1) двигатель постоянного тока: наивысшая частота вращения при полном возбуждении;

2) генератор постоянного тока: номинальная частота вращения;

3) коллекторный двигатель переменного тока: наивысшая частота вращения при полном возбуждении;

b) напряжение якоря: соответствует номинальной частоте вращения.

Примечание – Должно быть уделено внимание пределам коммутационной способности.

9.4 Кратковременная перегрузка двигателей по вращающему моменту

9.4.1 Многофазные асинхронные двигатели и двигатели постоянного тока

Двигатели независимо от их режима работы и конструкции должны выдерживать в течение 15 с без остановки или резкого изменения скорости (при постепенном увеличении вращающего момента) перегрузку по вращающему моменту, превышающую на 60 % номинальный вращающий момент, при этом поддерживаются номинальные значения напряжения и частоты сети (для асинхронных двигателей).

Примечание – Более высокие вращающие моменты требуются для некоторых двигателей, изготовленных согласно МЭК 60034-12.

Для двигателей постоянного тока вращающий момент должен быть выражен относительно тока при перегрузке.

Двигатели для типового режима S9 должны кратковременно выдерживать перегрузку по вращающему моменту, определенному в соответствии с установленным режимом работы.

Примечание – Для приблизительного определения изменений температуры из-за изменения потерь в зависимости от тока может использоваться эквивалентная тепловая постоянная времени, определенная согласно 8.8.

Двигатели, предназначенные для специального применения и требующие высокого момента (например, для подъемников), следует изготовлять в соответствии с соглашением.

Для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором специального исполнения гарантированный пусковой ток должен быть не меньше, чем в 4,5 раза больше номинального тока, превышение момента должно быть на 60 % ниже величины, приведенной в первом абзаце настоящего пункта, но не менее чем 50 %.

В случае специальных типов асинхронных двигателей с особыми пусковыми свойствами, например двигатели, предназначенные для работы с переменной частотой, или асинхронные двигатели, снабженные статическими преобразователями, значение превышения момента должно быть предметом согласования.

9.4.2 Многофазные синхронные двигатели

Если несогласование иное, многофазный синхронный двигатель независимо от режима работы должен выдерживать, не выпадая из синхронизма, перегрузку по вращающему моменту, как установлено ниже, в течение 15 с с возбуждением, поддерживаемым на уровне, соответствующем номинальной нагрузке. Когда используется автоматическое регулирование возбуждения, перегрузка по вращающему моменту должна быть такой же, как при работе с комплектом возбудителей, работающим при нормальных условиях:

– синхронизированные с фазным ротором асинхронные двигатели: 35 %-ное превышение вращающего момента;

– синхронные неявнополюсные двигатели: 35 %-ное превышение вращающего момента;

– синхронные явнополюсные двигатели: 50 %-ное превышение вращающего момента.

9.4.3 Другие двигатели

Кратковременная перегрузка по вращающему моменту для однофазных, коллекторных и других двигателей должна быть предметом соглашения.

9.5 Минимальный пусковой момент

Если иначе не определено (например, машины, выполненные в соответствии с МЭК 60034-12), минимальный пусковой момент асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при номинальном напряжении не должен быть меньше, чем в 0,3 раза по отношению к номинальному моменту.

9.6 Безопасная рабочая частота вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором

Все односкоростные трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором с типом габарита до 315 включительно и для напряжений до 1000 В включительно должны непрерывно работать при частотах вращения, указанных в таблице 17, если иначе не указано на паспортной табличке.

Таблица 17 – Максимальная безопасная рабочая частота вращения, мин$^{-1}$, односкоростных трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором для напряжений до 1000 В включительно

Тип габарита	Максимальная безопасная рабочая частота вращения, мин$^{-1}$, для двигателей с числом полюсов		
	2	3	4
≤ 100	5200	3600	2400
112	5200	3600	2400
132	4500	2700	2400
160	4500	2700	2400
180	4500	2700	2400
200	4500	2300	1800
225	3600	2300	1800
250	3600	2300	1800
280	3600	2300	1800
315	3600	2300	1800

Примечание – При работе при частоте вращения выше номинальной, например, когда используется устройство регулирования частоты, шум и уровни вибрации будут увеличиваться. Потребитель может потребовать точного регулирования ротора двигателя для приемлемой работы выше номинальной частоты вращения. Срок службы подшипников может быть уменьшен. Нужно обратить внимание на интервалы смазки и срок службы смазки.

9.7 Повышенная частота вращения

Машины должны быть спроектированы так, чтобы выдерживать частоты вращения, указанные в таблице 18.

Испытание при повышенной частоте, как правило, не считают обязательным, но может быть проведено, если это определено в соглашении (для турбогенераторов постоянного тока см. также МЭК 60034-3). Результаты испытания при повышенной частоте будут считаться удовлетворительными, если отсутствует остаточная деформация и никакие другие дефекты, которые препятствовали бы нормальной работе машины, не выявлены, а обмотки ротора после того, как испытание выполнено, имеют заданные диэлектрические свойства. Продолжительность любого испытания при повышенной частоте вращения должна быть 2 мин.

При шихтованных ободьях ротора, ламинированных полюсах, закрепленных клиньями или болтами и т. п., незначительное остаточное увеличение диаметра естественно и не должно рассматриваться как аномальная деформация, указывающая, что машина не является пригодной для нормальной работы.

В процессе ввода в действие гидротурбины, которая приводит в действие синхронный генератор, машина должна вращаться с частотой, которая может быть достигнута при наличии защиты от превышения частоты вращения, чтобы установить, что балансировка была достаточной при такой частоте.

Таблица 18 – Повышенная частота вращения

Номер пункта	Тип машины	Повышенная частота вращения
1	Машины переменного тока	В 1,2 раза больше максимальной номинальной частоты вращения
	Все машины, кроме указанных ниже:	
1a)	Гидрогенераторы и любые вспомогательные машины, связанные непосредственно (электрически или механически) с главной машиной	Если иначе не определено, угонное число оборотов в минуту должно быть не менее чем в 1,2 раза больше максимальной номинальной частоты вращения
1b)	Машины, которые при некоторых обстоятельствах запускаются при нагрузке	Установленное угонное число оборотов в минуту, но не менее чем в 1,2 раза больше максимальной номинальной частоты вращения

Окончание таблицы 18

Номер пункта	Тип машины	Повышенная частота вращения
1c)	Двигатели с последовательным возбуждением и универсальные двигатели	В 1,1 раза больше частоты вращения на холостом ходу при номинальном напряжении. Для двигателей, соединенных с нагрузкой так, что они не могут случайно отсоединиться, слова «частота вращения на холостом ходу» должны интерпретироваться как самая маленькая нагрузка, какая возможна
1d)	Односкоростные трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором согласно 8.5	В 1,2 раза больше максимальной безопасной рабочей частоты вращения
2 2a)	Машины постоянного тока Двигатели с параллельным и независимым возбуждением	В 1,2 раза больше максимальной номинальной частоты вращения или в 1,15 раз больше соответствующей частоты вращения на холостом ходу, в зависимости от того, что из них больше
2b)	Двигатели со смешанным возбуждением, имеющие регулирование частоты вращения до 35 % ниже номинальной	В 1,2 раза больше максимальной номинальной частоты вращения или в 1,15 раз больше соответствующей частоты вращения на холостом ходу, наибольшее значение, но не более чем в 1,5 раза больше максимальной номинальной частоты вращения
2c)	Двигатели со смешанным возбуждением и двигатели с последовательным возбуждением с регулированием частоты вращения до 35 % выше номинальной	Изготовитель должен устанавливать максимальную безопасную рабочую частоту вращения, которая должна быть отмечена на паспортной табличке. Повышенная частота вращения этих двигателей должна быть в 1,1 раза больше максимальной безопасной рабочей частоты вращения. Маркировка безопасной рабочей частоты вращения не требуется на двигателях, которые работают при повышенной частоте вращения в 1,1 раза большей, чем частота вращения на холостом ходу при номинальном напряжении
2d)	Двигатели с возбуждением постоянными магнитами	Повышенная частота вращения такая же, как определена в пункте 2a), если двигатель не имеет последовательной обмотки, и в этом случае он должен выдерживать повышенную частоту вращения, установленную в пунктах 2b) или 2c) соответственно
2e)	Генераторы	В 1,2 раза больше номинальной частоты вращения

9.8 Ток короткого замыкания для синхронных машин

Если иначе не определено, пиковое значение тока короткого замыкания для синхронных машин, включая турбомашины, не включенные в МЭК 60034-3, в случае короткого замыкания на всех фазах во время работы при номинальном напряжении не должно превышать 15-кратное пиковое значение или 21-кратное действующее значение номинального тока.

Проверка может быть выполнена расчетом или посредством испытания при половинном номинальном напряжении или выше.

9.9 Испытание синхронных машин на невосприимчивость при коротком замыкании

Испытание при коротком замыкании для трехфазных синхронных машин должно быть выполнено только по требованию потребителя. В этом случае испытание должно быть проведено на работающей на холостом ходу машине с возбуждением, соответствующим номинальному напряжению, если иначе не согласовано. Испытание следует проводить с напряжением возбуждения до 1,05-кратного номинального напряжения без нагрузки.

Возбуждение при испытании, как определено, можно понизить в соответствии с соглашением для учета полного сопротивления трансформатора, который может быть помещен между машинами и сетью. В этом случае может также быть обусловлено, что испытание проводится на месте эксплуатации с действующим устройством форсирования возбуждения. Короткое замыкание следует выдерживать в течение 3 с.

Испытание считают удовлетворительным, если отсутствует деформация и выполнены требования к электрической прочности (см. таблицу 16), проведенные после испытания короткого замыкания. Для трехфазных турбомашин см. МЭК 60034-3.

9.10 Коммутационное испытание коллекторных машин

Коллекторная машина постоянного или переменного тока должна работать, начиная с холостого хода до перегрузки по току по 9.3 или вращающему моменту по 9.4, без повреждения поверхности коллектора или щеток и без опасного искрения, причем щетки должны оставаться в одном положении. Если возможно, коммутационное испытание должно быть выполнено при условиях повышенной температуры.

9.11 Суммарный коэффициент гармоник для синхронных машин

9.11.1 Общие положения

Требования этого пункта распространяются только на синхронные машины, имеющие номинальные мощности не менее 300 кВт (кВ · А), предназначенные для подключения к сетям электропитания с номинальными частотами от $16\frac{2}{3}$ до 100 Гц включительно, с целью уменьшения взаимного влияния между линиями электропитания и смежными цепями.

9.11.2 Ограничения

При проверке на разомкнутой цепи и при номинальной частоте вращения и напряжении суммарный коэффициент гармоник (*THD*) линейного напряжения на выводах, измеренный в соответствии с методами 9.11.3, не должен превышать 5 %.

Примечание – Предельные значения конкретных гармоник не устанавливают, поскольку предполагается, что машины, которые отвечают вышеупомянутым требованиям, работают удовлетворительно.

9.11.3 Испытания

Для проверки соответствия 9.11.2 на машинах переменного тока должны быть проведены испытания типа. Интервал измеренных частот должен охватить все гармоники от номинальной частоты до сотой гармоники.

THD может быть измерен непосредственно с помощью специально разработанного для этой цели измерителя, связанного с сетью, или должна быть измерена каждая отдельная гармоника, и по измеренным значениям должен быть вычислен *THD* по следующей формуле

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{k} u_n^2},$$

где u_n – отношение линейного напряжения U_n машины к линейному значению напряжения первой гармоники U_1 машины;

n – число гармоник;

k = 100.

10 Паспортные таблички

10.1 Общие положения

Каждую электрическую машину следует снабжать одной или несколькими паспортными табличками. Таблички должны быть сделаны из долговечного материала и надежно закреплены.

Паспортная табличка(и) предпочтительно должна(ы) быть установлена(ы) на корпусе машины и располагаться так, чтобы быть легко читаемой в рабочем положении, определяемом типом конструкции и схемой расположения машины. Если электрическая машина закрытого типа или встроена в оборудование так, что ее паспортная табличка не является легко читаемой, изготовитель по запросу должен обеспечить второй паспортной табличкой, которая будет установлена на оборудовании.

10.2 Маркировка

Для машин номинальной мощностью до 750 Вт (В · А) и габаритами, не охваченными МЭК 60072, и для встроенных машин специального назначения номинальной мощностью до 3 кВт (кВ · А) нижеприведенные перечисления 1, 2, 11 и 12 должны быть нанесены обязательно.

Во всех других случаях на паспортную табличку должны быть прочно нанесены применимые нижеприведенные перечисления. Не все необходимые пункты могут находиться на одной и той же паспортной табличке. Буквенные символы для единиц измерения и их числовые значения должны быть в соответствии с МЭК 60027-1 и МЭК 60027-4.

Если изготовитель дает более подробную информацию, необязательно наносить ее на паспортную табличку(и).

Перечень пронумерован для удобного ориентирования, но порядок, в котором он заносится на паспортную табличку(и), нестандартизован. Перечисления могут быть объединены.

1) Наименование изготовителя или торговая марка.

2) Серийный номер изготовителя или идентификационный номер.

Примечание – Отдельное обозначение допускается использовать для распознавания каждого элемента группы машин, которые сделаны по тому же самому электрическому и механическому проектам и произведены в одной партии, используя ту же самую технологию.

3) Информация для идентификации года изготовления. Она должна быть нанесена на паспортной табличке или даваться на спецификации, которой снабжается машина.

Примечание – Если эта информация может быть получена от изготовителя из данных, установленных в перечислении 2, она может быть опущена на паспортной табличке и на спецификации.

4) Идентификационный код машины.

5) Число фаз для машин переменного тока.

6) Номер(а) стандарта(ов) на номинальные и рабочие характеристики, который(е) применяется(ются) [МЭК 60034-X и/или соответствующий(е) национальный(е) стандарт(ы)]. Если указывают МЭК 60034, то подразумевают соответствие всем другим стандартам серии МЭК 60034.

7) Степень защиты, обеспечиваемая оболочками (код IP), в соответствии с МЭК 60034-5.

8) Классификация нагревостойкости и предельная температура или превышение температуры (если ниже чем для данной нагревостойкости) и, если необходимо, метод измерения, применяемый в случае машины с теплообменником с водяным охлаждением «P» или «S», в зависимости от того, что выше: измеренное превышение температуры первичного или вторичного охладителя соответственно (см. 7.2). Эту информацию следует приводить для статора и ротора (отделенная косой чертой), когда их классификации нагревостойкости отличаются.

9) Класс(ы) номинальных данных машины, если машина спроектирована для данных, отличных от режима работы S1 (см. 5.2).

10) Номинальная(ые) мощность(и) или диапазон номинальных мощностей.

11) Номинальное(ые) напряжение(я) или диапазон номинальных напряжений.

12) Для машин переменного тока номинальная частота или диапазон номинальных частот.

Для универсальных двигателей номинальная частота должна сопровождаться соответствующим символом:

Пример – «~ 50 Гц/переменный ток» или «50 Гц/постоянный ток»

13) Номинальный(ые) ток(и) или диапазон номинальных токов.

14) Номинальная частота вращения (или частоты вращения) или диапазон номинальных частот вращения.

15) Допустимое превышение частоты вращения, если оно отличается от установленного в 9.7, или максимальная безопасная рабочая частота вращения, если менее чем в 9.6.

16) Для машин постоянного тока с независимым возбуждением или с параллельным возбуждением и для синхронных машин – номинальное напряжение возбуждения и номинальный ток возбуждения.

17) Для машин переменного тока номинальный коэффициент(ы) мощности.

18) Для асинхронных машин с фазным ротором – номинальное напряжение на холостом ходу между контактными кольцами и номинальный ток контактных колец.

19) Для двигателей постоянного тока, предназначенных для питания от статических преобразователей энергии, – идентификационный код статического преобразователя энергии в соответствии с МЭК 60971.

Альтернативно для двигателей мощностью до 5 кВт номинальный коэффициент формы волны и номинальное переменное напряжение на входных клеммах статического преобразователя энергии, если оно выше номинального постоянного напряжения цепи якоря двигателя.

20) Максимальная температура окружающего воздуха, если она отличается от 40 °С. Максимальная температура охлаждающей воды, если она отличается от 25 °С.

21) Минимальная температура окружающего воздуха, если она отличается от установленной в 6.4.

22) Высота над уровнем моря, для которой машина предназначена (при превышении 1000 м над уровнем моря).

23) Для охлаждаемых водородом машин – давление водорода при номинальной мощности.

24) Если известна приблизительная полная масса машины – при превышении 30 кг.

25) Для машин, предназначенных для работы только в одном направлении вращения, направление вращения обозначается стрелкой. Стрелка необязательно должна находиться на паспортной табличке, но должна быть хорошо видна.

26) Схема соединения в соответствии с МЭК 60034-8 для основной диаграммы или текста, расположенного возле пульта.

Две различные номинальные величины должны быть обозначены X/Y, а диапазон номинальных величин должен быть обозначен X – Y (см. МЭК 61293).

Если обмотка машины частично или полностью восстановлена или заменена на другую, должна устанавливаться дополнительная табличка с указанием наименования исполнителя ремонта, года ремонта и сделанных изменений.

11 Прочие требования

11.1 Заземление машин

Машина должна быть оснащена средством для присоединения защитного проводника или заземляющего провода.

Символ ⏚ или надпись должны быть нанесены на это устройство. Машины могут быть не заземлены или соединены с заземляющим элементом, если:

1) они снабжены дополнительной изоляцией;

2) они предназначены для укомплектования аппаратами, имеющими дополнительную изоляцию;

3) они имеют номинальное напряжение до 50 В переменного тока или 120 В постоянного тока и предназначены для использования в цепях безопасного сверхнизкого напряжения.

Примечание – Термин «безопасное сверхнизкое напряжение» приведен в МЭК 60884-2-4.

В машинах, имеющих номинальное напряжение более чем 50 В переменного тока или 120 В постоянного тока, но не превышающее 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока, зажим для заземляющего провода должен быть расположен поблизости от выводов фаз, помещенных в распределительной коробке, если она имеется. Машины, имеющие номинальные мощности более 100 кВт (кВ · А), должны иметь дополнительно элемент заземления, установленный на корпусе.

Машины номинальным напряжением более 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока должны иметь элемент заземления на корпусе, например стальную пластину, и дополнительно зажим в распределительной коробке для соединения токопроводящей оболочки кабеля, если она имеет место.

Элемент заземления должен быть сконструирован так, чтобы обеспечивать хорошее соединение с заземляющим проводом без повреждения провода или зажима. Доступные проводящие части, которые не являются составной частью рабочей цепи, должны иметь соединение друг с другом и с элементом заземления с хорошей электрической проводимостью. Если все подшипники и обмотка ротора машины изолированы, вал должен быть электрически связан с элементом заземления, если изготовитель и потребитель не имеют соглашения на альтернативные способы защиты.

Если элемент заземления находится в разветвительной коробке, предполагается, что заземляющий проводник сделан из того же самого металла, что и токоведущие проводники.

Если элемент заземления расположен на корпусе, заземляющий провод в соответствии с соглашением может быть сделан из другого металла (например, стали). В этом случае размеры рассматриваемого элемента должны даваться с учетом удельной проводимости проводника.

Элемент заземления должен быть спроектирован для присоединения заземляющего провода с площадью поперечного сечения в соответствии с таблицей 18. Если используется заземляющий провод большего сечения, чем указано в таблице 18, рекомендуется, чтобы оно было близко к одному из значений из перечня.

Для другой площади поперечного сечения проводников, находящихся под напряжением, заземляющий или защитный провод должен иметь площадь поперечного сечения не менее чем:

– у проводника, находящегося под напряжением, для площади поперечного сечения меньше чем 25 мм^2;

– 25 мм^2 для площади поперечного сечения от 25 до 50 мм^2;

– 50 % площади поперечного сечения проводника, находящегося под напряжением, для площади поперечного сечения, превышающей 50 мм^2.

Заземляющий элемент должен быть обозначен в соответствии с МЭК 60445.

Таблица 19 – Площадь поперечного сечения заземляющих проводов

Площадь поперечного сечения заземляющего или защитного проводника, мм^2	Площадь поперечного сечения токоведущего проводника, мм^2
4	4
6	6
10	10
16	16
25	25
25	35
25	50
35	70
50	95
70	120
70	150
95	185
120	240
150	300
185	400

11.2 Шпонка на конце вала

Если конец вала машины снабжен одним или более шпоночными пазами, каждый паз должен быть снабжен стандартной шпонкой.

12 Отклонения

12.1 Общие положения

Отклонения должны соответствовать указанным в таблице 20.

Таблица 20 – Перечень отклонений на значения параметров

Номер пункта	Наименование параметра	Отклонение
1	КПД η: машины до 150 кВт (кВ · А) включительно машины выше 150 кВт (кВ · А)	 – 15 % от (1 – η) – 10 % от (1 – η)
2	Полные потери (относится к машинам с номинальной мощностью более 150 кВт (кВ · А)	+ 10 % от полных потерь
3	Коэффициент мощности cos φ для асинхронных машин	– 1/6 (1 – cos φ) Минимальное абсолютное значение 0,02 Максимальное абсолютное значение 0,07
4 4a) 4b) 4c)	Частота вращения двигателей постоянного тока (при полной нагрузке и при рабочей температуре)[1)] Двигатели с параллельным и независимым возбуждением Двигатели с последовательным возбуждением Двигатели со смешанным возбуждением	 1000 P_N/n_N < 0,67 ± 15 % 0,67 ≤ 1000 P_N/n_N < 2,5 ± 10 % 2,5 ≤ 1000 P_N/n_N < 10 ± 7,5 % 10 ≤ 1000 P_N/n_N ± 5 % 1000 P_N/n_N < 0,67 ± 20 % 0,67 ≤ 1000 P_N/n_N < 2,5 ± 15 % 2,5 ≤ 1000 P_N/n_N < 10 ± 10 % 10 ≤ 1000 P_N/n_N ± 7,5 % Допуски, как для пункта 4b), если не будет достигнута другая договоренность
5	Изменение частоты вращения двигателей постоянного тока с параллельным и последовательным возбуждением (от холостого хода до предельной нагрузки)	± 20 % заданного изменения, но не менее ± 2 % номинальной частоты вращения
6	Автоматическое регулирование напряжения генераторов постоянного тока с параллельным или независимым возбуждением для любой точки характеристики	± 20 % заданного диапазона регулирования в этой точке
7	Автоматическое регулирование напряжения генераторов с последовательным возбуждением (для номинального коэффициента мощности в случае переменного тока)	± 20 % заданного диапазона регулирования, но не менее ± 3 % номинального напряжения (этот допуск относится к максимальному отклонению для любой нагрузки между регистрируемым напряжением при этой нагрузке и прямой линией, которую проводят между точками заданного холостого хода и напряжения при полной нагрузке)
8a) 8b)	Скольжение асинхронных двигателей (при полной нагрузке и при рабочей температуре) P_N < 1 кВт P_N ≥ 1 кВт Частота вращения двигателей (коллекторных) переменного тока с шунтовыми характеристиками (при полной нагрузке и при рабочей температуре)	 ± 30 % заданного скольжения ± 20 % заданного скольжения На самой высокой частоте вращения: – 3 % синхронной частоты вращения; на самой низкой частоте вращения: + 3 % синхронной частоты вращения
9	Пусковой ток асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором с любой установленной пусковой аппаратурой	+ 20 % гарантируемого тока

Окончание таблицы 20

Номер пункта	Наименование параметра	Отклонение
10	Вращающий момент при заторможенном роторе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором	+ 25 %, – 15 % заданного вращающего момента (+ 25 % может быть превышено в соответствии с соглашением)
11	Минимальный пусковой момент асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором	– 15 % заданного значения
12	Максимальный вращающий момент асинхронных двигателей	– 10 % заданного вращающего момента за исключением того, что после учета этого допуска вращающий момент должен быть не менее чем 1,6 или 1,5 номинального вращающего момента, см. 9.4.1
13	Ток при заторможенном роторе синхронных двигателей	+ 20 % заданного значения
14	Вращающий момент синхронного двигателя при заторможенном роторе	+ 25 %, – 15 % заданного значения (+ 25 % может быть превышено в соответствии с соглашением)
15	Предельный перегрузочный момент	– 10 % заданного значения, за исключением того, что после учета этого допуска вращающий момент должен быть не менее чем 1,35 или 1,50 номинального вращающего момента (см. 9.4.2)
16	Пиковое значение тока короткого замыкания генератора переменного тока при установленных условиях	± 30 % заданного значения
17	Установившийся ток короткого замыкания генератора переменного тока при установленном возбуждении	± 15 % заданного значения
18	Момент инерции	± 10 % заданного значения

[1)] Отклонения в пункте 4 зависят от отношения номинальной мощности P_N, кВт, к номинальной частоте вращения, мин$^{-1}$.

Примечание – Если отклонение установлено только в одном направлении, значение в другом направлении не ограничено.

13 Электромагнитная совместимость

13.1 Общие требования

Нижеуказанные требования распространяются на вращающиеся электрические машины номинальным напряжением, не превышающим 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока, и которые предназначены для работы при условиях, оговоренных ниже.

Электронные блоки, установленные во вращающейся электрической машине и важные для ее работы (например, вращающиеся устройства возбуждения), являются частью машины.

Требования, которые применяют к системе конечной передачи и ее узлам, например силовое и управляемое электронное оборудование, объединяющее машины, контролирующие устройства и т. д., установленные внутри или снаружи машины, находятся вне области действия настоящего стандарта.

Требования этого раздела относятся к машинам, которыми непосредственно снабжается конечный пользователь.

Примечание – Машины, предназначенные для комплектации в качестве составных частей оборудования, где кожух и готовое изделие будут влиять на электромагнитное излучение, входят в область распространения стандартов на электромагнитную совместимость (ЭМС), которые относятся к конечной продукции.

Переходные процессы (типа пуска) не охвачены этим разделом.

13.2 Помехоустойчивость

13.2.1 Машины, не имеющие в составе электронные цепи

Машины без электронных цепей нечувствительны к электромагнитному излучению при нормальных условиях эксплуатации и не требуют испытаний на помехоустойчивость.

13.2.2 Машины, имеющие в составе электронные цепи

В электронных цепях, которые входят в состав машин, в основном используются пассивные компоненты (например, диоды, резисторы, варисторы, конденсаторы, ограничительные диоды, индукторы), поэтому не требуют проведения испытания на помехоустойчивость.

13.3 Помехоэмиссия

13.3.1 Машины без щеток

Излучаемые и кондуктивные помехи должны соответствовать требованиям СИСПР 11, класс В, группа 1 (см. таблицу В.1, приложение В).

13.3.2 Машины со щетками

Излучаемые и кондуктивные (если имеются) помехи должны соответствовать требованиям СИСПР 11, класс А, группа 1 (см. таблицу В.2, приложение В).

13.4 Испытания на помехоустойчивость

Испытания на помехоусточивость не требуются.

13.5 Испытания на помехоэмиссию

В зависимости от области применения испытания типа должны быть проведены в соответствии с СИСПР 11, СИСПР 14 и СИСПР 16.

13.5.1 Машины без щеток

Машины без щеток должны соответствовать нормам помехоэмиссии по 13.3.1.

13.5.2 Машины со щетками

Машины со щетками, когда их испытывают на холостом ходу, должны соответствовать нормам помехоэмиссии по 13.3.2.

Примечания

1 Измерение на холостом ходу оправдано незначительным влиянием нагрузки на излучение.

2 Кондуктивная помехоэмиссия от машин постоянного тока отсутствует, так как они непосредственно не связаны с источником переменного тока.

3 Помехоэмиссия от заземляющих щеток настолько мала, что в проведении испытания нет необходимости.

14 Безопасность

Вращающиеся машины должны соответствовать требованиям МЭК 60204-1, или МЭК 60204-11, или МЭК 60335-1 в случае вращающихся машин с короткозамкнутым ротором бытового или аналогичного применения, если иное не установлено в настоящем стандарте и разрабатываются, и изготавливаются по возможности в соответствии с принятой международной практикой.

Примечание – Это является ответственностью изготовителя или сборщика оборудования, монтирующего электрические машины, как составные части, чтобы гарантировать, что весь комплекс оборудования безопасен.

Это может повлечь рассмотрение важных стандартов на продукцию, таких как:

– МЭК 60079 «Электрические аппараты для взрывоопасных газовых сред»;

– другие части МЭК 60034, включая МЭК 60034-5, МЭК 60034-6, МЭК 60034-7, МЭК 60034-8, МЭК 60034-11 и МЭК 60034-12.

Кроме того, возможно, необходимо рассмотреть ограничение температуры поверхности и подобные характеристики (см., например, МЭК 60335-1, раздел 11).

Приложение А
(справочное)

Руководство по применению режима работы S10 для установления срока службы по условиям нагрева *TL*

А.1 Нагрузка машины в любой момент эквивалентна режиму работы S1, соответствующему 3.2.1. Цикл нагрузки может включать нагрузки, отличные от номинальной нагрузки, используемой при режиме работы S1. Один цикл нагрузки может включать не больше четырех дискретных постоянных нагрузок (см. рисунок 10).

А.2 В пределах одного цикла срок службы машины, основанный на тепловом старении системы изоляции, в зависимости от нагрузки может быть рассчитан с помощью следующего уравнения

$$\frac{1}{TL} = \sum_{i=1}^{n} \Delta t_i 2^{\frac{\Delta\Theta_i}{k}},$$

где TL – срок службы по условиям нагрева, связанный со сроком службы по условиям нагрева в случае режима работы S1 с номинальной мощностью;

n – число дискретных значений нагрузки ($n < 4$);

Δt_i – время постоянной нагрузки в относительных единицах в пределах цикла нагрузки;

$\Delta\Theta_i$ – разность между превышением температуры обмотки для каждой из различных нагрузок в пределах одного цикла и превышением температуры на основании режима работы S1 с исходной нагрузкой;

k – увеличение превышения температуры, °С, которое ведет к сокращению срока службы по условиям нагрева системы изоляции на 50 %.

А.3 *TL* – неотъемлемая часть однозначного определения класса номинальных данных.

А.4 Значение *TL* может быть определено в случае, если в дополнение к информации относительно цикла нагрузки согласно рисунку 10 известно значение *k* для системы изоляции. Значение *k* должно быть определено экспериментально в соответствии с МЭК 60034-18 для всего интервала температур, в пределах которого цикл нагрузки соответствует рисунку 10.

А.5 Целесообразно указывать *TL* только как относительную величину. Эта величина может использоваться для приблизительной оценки реального изменения срока службы машины по условиям нагрева по сравнению с режимом работы S1 с номинальной мощностью, потому что предполагается, что с учетом переменных нагрузок, существующих в пределах цикла, остальные влияния на срок службы машины (например, напряжения в диэлектрике, экологические влияния) приблизительно такие же, как в случае режима работы S1 с номинальной мощностью.

А.6 Изготовитель машины несет ответственность за правильный выбор различных параметров для определения значения *TL*.

Приложение В
(справочное)

Нормы электромагнитной совместимости

Таблица В.1 – Нормы электромагнитной совместимости для машин без щеток

Вид помехи	Частотный диапазон	Пределы
Излучаемая помеха	От 30 до 230 МГц	30 дБ (мкВ/м) – квазипиковое значение, измеренное на расстоянии 10 м (см. примечание 1)
	От 230 до 1000 МГц	37 дБ (мкВ/м) – квазипиковое значение, измеренное на расстоянии 10 м (см. примечание 1)
Кондуктивные помехи на зажимах источника питания переменного тока	От 0,15 до 0,5 МГц. Пределы уменьшаются линейно с логарифмической частотой	От 66 до 56 дБ (мкВ) – квазипиковое значение От 56 до 46 дБ (мкВ) – среднее значение
	От 0,5 до 5 МГц	56 дБ (мкВ) – квазипиковое значение 46 дБ (мкВ) – среднее значение
	От 5 до 30 МГц	60 дБ (мкВ) – квазипиковое значение 50 дБ (мкВ) – среднее значение
Примечания 1 Может быть измерено на расстоянии 3 м при использовании пределов, увеличенных на 10 дБ. 2 Пределы помех по СИСПР 11, класс В, группа 1.		

Таблица В.2 – Нормы электромагнитной совместимости для машин со щетками

Вид помехи	Частотный диапазон	Пределы
Излучаемая помеха	От 30 до 230 МГц	30 дБ (мкВ/м) – квазипиковое значение, измеренное на расстоянии 30 м (см. примечание 1)
	От 230 до 1000 МГц	37 дБ (мкВ/м) – квазипиковое значение, измеренное на расстоянии 30 м (см. примечание 1)
Кондуктивные помехи на зажимах источника питания переменного тока	От 0,15 до 0,50 МГц	79 дБ (мкВ) – квазипиковое значение 66 дБ (мкВ) – среднее значение
	От 0,50 до 30 МГц	73 дБ (мкВ) – квазипиковое значение 60 дБ (мкВ) – среднее значение
Примечания 1 Может быть измерено на расстоянии 10 м при использовании пределов, увеличенных на 10 дБ, или измерено на расстоянии 3 м при использовании пределов, увеличенных на 20 дБ. 2 Пределы помех по СИСПР 11, класс А, группа 1.		

Приложение С
(справочное)

Сведения о соответствии международных стандартов, на которые даны ссылки, межгосударственным стандартам

Таблица С.1

Обозначение и наименование международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование межгосударственного стандарта
МЭК 60034-6:1991 Машины электрические вращающиеся. Часть 6. Методы охлаждения (код IC)	IDT	ГОСТ МЭК 60034-6-2007 Машины электрические вращающиеся. Часть 6. Методы охлаждения (код IC)
МЭК 60204-1:1997 Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Часть 1. Общие требования	IDT	ГОСТ МЭК 60204-1-2002 Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Часть 1. Общие требования

УДК 621.313.043.3(083.74)(476) МКС 29.160 IDT

Ключевые слова: машины электрические вращающиеся, номинальные данные, режим работы

Ответственный за выпуск *В.Л. Гуревич*

Сдано в набор 17.07.2007. Подписано в печать 12.09.2007. Формат бумаги 60×84/8. Бумага офсетная.
Гарнитура Arial. Печать ризографическая. Усл. печ. л. 6,86 Уч.- изд. л. 3,43 Тираж экз. Заказ

Издатель и полиграфическое исполнение
НП РУП «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации» (БелГИСС)
Лицензия № 02330/0133084 от 30.04.2004.
220113, г. Минск, ул. Мележа, 3.

gost.e-ecolog.ru