МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC 60034-1— 2024

МАШИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВРАЩАЮЩИЕСЯ

Часть 1

Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики

(IEC 60034-1:2022, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО СПбПУ) на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 31 октября 2024 г. № 178-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узбекское агентство по техническому регулированию

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 ноября 2024 г. № 1626-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 60034-1—2024 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2026 г. с правом досрочного применения

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 60034-1:2022 «Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики» («Rotating electrical machines — Part 1: Rating and performance», IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом по стандартизации ТС 2 «Вращающиеся машины» Международной электротехнической комиссии (IEC).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

6 ВЗАМЕН ГОСТ IEC 60034-1—2014

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© IEC, 2022
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024



В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 3
4 Режимы работы 7
4.1 Определение режима работы 7
4.2 Типовые режимы 8
5 Номинальные данные 18
5.1 Представление номинальных данных 18
5.2 Классы номинальных данных 18
5.3 Выбор класса номинальных данных 19
5.4 Определение номинальной выходной мощности в зависимости от типового режима 19
5.5 Номинальная мощность 19
5.6 Номинальное напряжение 20
5.7 Координация номинальных напряжений и мощностей 20
5.8 Машины с более чем одним набором номинальных данных 20
6 Условия эксплуатации 20
6.1 Общие положения 20
6.2 Высота 21
6.3 Максимальная температура окружающего воздуха 21
6.4 Минимальная температура окружающего воздуха 21
6.5 Температура охлаждающей воды 21
6.6 Остановка, хранение и транспортировка 21
6.7 Чистота водородного теплоносителя 21
7 Условия эксплуатации, обусловленные электрической сетью 21
7.1 Электроснабжение 21
7.2 Форма и симметрия напряжений и токов 22
7.3 Напряжение при пуске двигателей переменного тока 25
7.4 Отклонения напряжения и частоты при работе 25
7.5 Трехфазные машины в сетях с изолированной нейтралью 27
7.6 Уровни импульсных перенапряжений 28
8 Тепловые характеристики и испытания 28
8.1 Классы нагревостойкости машин 28
8.2 Нормативная охлаждающая среда 28
8.3 Условия проведения испытаний на нагревание 29
8.4 Превышение температуры части машины 30
8.5 Методы измерения температуры 30
8.6 Определение температуры обмотки 30
8.7 Продолжительность испытаний на нагревание 33
8.8 Определение тепловой эквивалентной постоянной времени для машин режима работы S9 . . . 33
8.9 Измерение температуры подшипника 34
8.10 Предельные значения температуры и превышения температуры 34
9 Другие характеристики и испытания 41
9.1 Контрольные испытания 41
9.2 Испытание изоляции обмоток повышенным напряжением 42

9.3 Кратковременные перегрузки по току . . . 46
9.4 Кратковременная перегрузка двигателей по вращающему моменту . . . 46
9.5 Минимальный вращающий момент при пуске . . . 47
9.6 Безопасная рабочая частота вращения короткозамкнутых асинхронных двигателей . . . 47
9.7 Повышенная частота вращения . . . 48
9.8 Ток короткого замыкания синхронных машин . . . 49
9.9 Испытание синхронных машин на устойчивость к коротким замыканиям . . . 49
9.10 Испытание коммутации коллекторных машин . . . 50
9.11 Суммарный коэффициент гармонических искажений (THD — Total harmonic distortion) синхронных машин . . . 50
9.12 Проверка защитного заземления . . . 50
9.13 Измерение сопротивления изоляции и показателя (индекса) поляризации изоляции обмоток . . . 51
9.14 Измерение электрического напряжения между концами вала . . . 51
10 Информационные требования . . . 52
10.1 Общие положения . . . 52
10.2 Документация на изделие . . . 52
10.3 Паспортная табличка . . . 52
10.4 Информационное содержание . . . 52
11 Прочие требования . . . 54
11.1 Защитное заземление машин . . . 54
11.2 Шпонки на конце вала . . . 55
12 Допустимые отклонения . . . 55
12.1 Общие положения . . . 55
12.2 Допустимые отклонения параметров машин . . . 56
13 Электромагнитная совместимость (ЭМС) . . . 57
13.1 Общие положения . . . 57
13.2 Устойчивость машин к электромагнитным помехам . . . 58
13.3 Излучаемые и кондуктивные помехи . . . 58
13.4 Проверки на помехоустойчивость . . . 58
13.5 Измерения помех, создаваемых машинами . . . 58
14 Требования безопасности . . . 59
Приложение А (справочное) Руководство по применению типового режима S10 и определению относительного термического срока службы изоляционной системы *TL* . . . 60
Приложение В (справочное) Предельные значения показателей электромагнитной совместимости (ЭМС) . . . 61
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам . . . 62
Библиография . . . 66

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

МАШИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВРАЩАЮЩИЕСЯ

Часть 1

Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики

Rotating electrical machines. Part 1. Rating and performance

Дата введения — 2026—01—01
с правом досрочного применения

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на все вращающиеся электрические машины, за исключением тех, которые регламентируются другими стандартами IEC, например IEC 60349.

На машины, охватываемые требованиями настоящего стандарта, могут распространяться новые, уточненные или дополнительные требования, установленные другими стандартами, например IEC 60079 и IEC 60092.

Примечание — Если некоторые пункты настоящего стандарта уточняются для возможности эксплуатации машины в специфических условиях (например, в космическом пространстве или под воздействием радиации), то остальные требования остаются действительными, если они не противоречат этим специальным уточнениям.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

IEC 60027-1:1992, Letters symbols to be used in electrical technology. Part 1: General (Обозначения буквенные, применяемые в электротехнике. Часть 1. Общие положения)

IEC 60027-1:1992/AMD1:1997

IEC 60027-1:1992/AMD2:2005

IEC 60027-4:2006, Letter symbols to be used in electrical technology. Part 4: Rotating electric machines (Обозначения буквенные, применяемые в электротехнике. Часть 4. Машины электрические вращающиеся)

IEC 60034-2[1)] (all parts), Rotating electrical machines — Part 2: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles) [Машины электрические вращающиеся. Часть 2. Стандартные методы определения потерь и коэффициента полезного действия по испытаниям (за исключением машин для подвижного состава) (все части)]

IEC 60034-3:2020, Rotating electrical machines — Part 3: Specific requirements for synchronous generators driven by steam turbines or combustion gas turbines and for synchronous compensators (Машины электрические вращающиеся. Часть 3. Специальные требования к синхронным генераторам, приводимым в движение паровыми турбинами или турбинами на сжатом газе, и к синхронным компенсаторам)

IEC 60034-5:2020, Rotating electrical machines. Part 5: Degrees of protection provided by the integral design of rotating electrical machines (IP code). Classification [Машины электрические вращающиеся.

[1)] Заменен на IEC 60034-2-1:2024.

Издание официальное

Часть 5. Классификация степеней защиты, обеспечиваемых оболочками вращающихся электрических машин (Код IP)]

IEC 60034-6:1991, Rotating electrical machines. Part 6: Methods of cooling (IC Code) [Машины электрические вращающиеся. Часть 6. Методы охлаждения (Код IC)].

IEC 60034-8:2007, Rotating electrical machines. Part 8: Terminal markings and direction of rotation (Машины электрические вращающиеся. Часть 8. Маркировка выводов и направления вращения)

IEC 60034-8:2007/AMD1:2014

IEC 60034-12:2016, Rotating electrical machines. Part 12: Starting performance of single-speed three-phase cage induction motors (Машины электрические вращающиеся. Часть 12. Пусковые характеристики односкоростных трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором)

IEC 60034-15:2009, Rotating electrical machines. Part 15: Impulse voltage withstand levels of form-wound stator coils for rotating a.c. machines (Машины электрические вращающиеся. Часть 15. Предельные уровни импульсного напряжения для вращающихся машин переменного тока с шаблонной катушкой статора)

IEC 60034-18 (all parts), Rotating electrical machines. Part 18: Functional evaluation of insulation systems [Машины электрические вращающиеся. Часть 18. Оценка функциональных показателей систем изоляции. Общие требования (все части)]

IEC 60034-18-41:2014, Rotating electrical machines. Part 18-41: Partial discharge free electrical insulation systems (Type I) used in rotating electrical machines fed from voltage converters. Qualification and quality control tests (Машины электрические вращающиеся. Часть 18-41. Квалификационные и типовые испытания для систем электроизоляции типа I, используемых во вращающихся электрических машинах с питанием от преобразователей источника напряжения)

IEC 60034-18-41:2014/AMD1:2019

IEC 60034-18-42:2017, Rotating electrical machines — Part 18-42: Partial discharge resistant electrical insulation systems (Type II) used in rotating electrical machines fed from voltage converters — Qualification tests (Машины электрические вращающиеся. Часть 18-42. Системы электроизоляции, стойкие к частичному разряду, типа II, используемые во вращающихся электрических машинах с питанием от преобразователей источника напряжения. Квалификационные испытания)

IEC 60034-18-42:2017/AMD1:2020

IEC 60034-19:2014, Rotating electrical machines — Part 19: Specific test methods for D.C. machines on conventional and rectifier-fed supplies (Машины электрические вращающиеся. Часть 19. Специальные методы испытаний для машин постоянного тока с обычной подачей электропитания и через выпрямитель)

IEC TS 60034-25:2014, Rotating electrical machines. — Part 25: AC electrical machines used in power drive systems. Application guide (Машины электрические вращающиеся. Часть 25. Электрические машины переменного тока, используемые в системах силового привода. Руководство по применению)

IEC 60034-27-4, Rotating electrical machines — Part 27-4: Measurement of insulation resistance and polarization index of winding insulation of rotating electrical machines (Машины электрические вращающиеся. Часть 27-4. Измерения сопротивления изоляции и показателя поляризации изоляции обмотки вращающихся электрических машин)

IEC 60034-29:2008, Rotating electrical machines. Part 29: Equivalent loading and superposition techniques. Indirect testing to determine temperature rise (Машины электрические вращающиеся. Часть 29. Эквивалентные методы нагрузки и наложения. Косвенное определение превышения температуры)

IEC 60034-30-1:2014, Rotating electrical machines. Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE code) [Машины электрические вращающиеся. Часть 30-1. Классы КПД двигателей переменного тока, работающих от сети (код IE)]

IEC TS 60034-30-2, Rotating electrical machines — Part 30-2: Efficiency classes of variable speed AC motors (IE-code) [Машины электрические вращающиеся. Часть 30-2. Классы эффективности двигателей переменного тока с регулированием частоты вращения (код IE)]

IEC 60034-33, Rotating electrical machines — Part 33: Synchronous hydro generators including motor-generators — Specific requirements (Машины электрические вращающиеся. Часть 33. Синхронные гидрогенераторы, в том числе мотор-генераторы. Дополнительные требования)

IEC 60050-411:1996, International Electrotechnical Vocabulary (IEV). Part 411: Rotating machinery [Международный электротехнический словарь (IEV). Часть 411. Машины вращающиеся]

IEC 60050-411:1996/AMD1:2007

IEC 60050-411:1996/AMD2:2021

IEC 60060-1:2010, High-voltage test techniques. Part 1: General definitions and test requirements (Методы испытаний высоким напряжением. Часть 1. Общие определения и требования к испытаниям)

IEC 60085:2007, Electrical insulation — Thermal evaluation and designation (Электрическая изоляция. Классификация и обозначение по термическим свойствам)

IEC 60204-1:2016, Safety of machinery. Electrical equipment of machines. Part 1: General requirements (Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Часть 1. Общие требования)

IEC 60204-11:2018, Safety of machinery. Electrical equipment of machines. Part 11: Requirements for equipment for voltages above 1000 V AC or 1500 V DC and not exceeding 36 kV (Электрооборудование промышленных машин. Безопасность. Часть 11. Требования к высоковольтному оборудованию, работающему при напряжениях свыше 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока и не выше 36 кВ)

IEC 60335-1:2020, Household and similar electrical appliances. Safety. Part 1: General requirements (Бытовые и аналогичные электрические приборы. Безопасность. Часть 1. Общие требования)

IEC 60364 (all parts), Low-voltage electrical installations (Электроустановки низковольтные)

IEC 60417[1)], Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets (Обозначения графические для аппаратуры. Указатель, обзор и набор отдельных листов)

IEC 60445:2017[2)], Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification. Identification of equipment terminals, conductor terminations and conductors (Основополагающие принципы и принципы безопасности для интерфейса «человек-машина», выполнение и идентификация. Идентификация выводов электрооборудования, концов проводников и проводников)

IEC 60664-1:2020, Insulation coordination for equipment within low-voltage systems. Part 1: Principles, requirements and tests (Координация изоляции для оборудования в низковольтных системах. Часть 1. Принципы, требования и испытания)

IEC 61148:2011, Terminal markings for valve device stacks and assemblies and for power conversion equipment (Маркировка выводов для блоков и вентильных модулей и для оборудования силовых преобразователей)

IEC TS 61800-8, Adjustable speed electrical power drive systems. Part 8: Specification of voltage on the power interface (Электрические приводные системы с регулируемой скоростью. Часть 8. Спецификация напряжения на силовом сопряжении)

CISPR 11:2015, Industrial, scientific and medical equipment. Radio-frequency disturbance characteristics. Limits and methods of measurement (Электромагнитная совместимость. Оборудование промышленное, научное и медицинское. Характеристики радиочастотных помех. Нормы и методы испытаний)

CISPR 11:2015/AMD1:2016

CISPR 11:2015/AMD2:2019

CISPR 14 (all parts), Electromagnetic compatibility. Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus [(Электромагнитная совместимость. Требования для бытовых приборов, электрических инструментов и аналогичных аппаратов) (все части)]

CISPR 16, (all parts) Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods [(Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерительная аппаратура) (все части)]

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по IEC 60050-411, а также следующие термины с соответствующими определениями.

Примечания

1 Определения, касающиеся охлаждения и охлаждающей среды, кроме определений, приведенных в 3.17—3.22 (см. IEC 60034-6).

2 Для целей настоящего стандарта термин «соглашение» означает «соглашение между производителем и заказчиком».

[1)] Заменен на IEC 60417-DB-12M:2002.

[2)] Заменен на IEC 60445:2021. Однако для однозначного соблюдения требований настоящего стандарта, выраженного в датированной ссылке, рекомендуется использовать только указанное в этой ссылке издание.

ISO и IEC поддерживают терминологические базы данных для использования в стандартизации по следующим адресам:

- Электропедия IEC доступна по адресу: gost.e-ecolog.ru ;
- платформа онлайн-просмотра ISO доступна по адресу: gost.e-ecolog.ru .

3.1 **номинальное значение** (rated value): Числовое значение параметра, установленное обычно изготовителем для согласованных условий эксплуатации машины.

Примечание — Номинальное напряжение или диапазон изменения напряжения — это номинальное напряжение или диапазон изменения напряжения между линейными выводами.

[IEC 60050-411:1996, 411-51-23]

3.2 **номинальные данные** (rating): Совокупность номинальных значений параметров и условий эксплуатации.

[IEC 60050-411:1996, 411-51-24]

3.3 **номинальная мощность** (rated output): Числовое значение мощности при номинальной нагрузке, входящее в состав номинальных данных.

3.4 **нагрузка** (load): *Все значения, в случае генератора, электрических и, в случае двигателя, механических величин, которые обозначают нагрузку электрической цепи или механизма на вращающуюся машину в данный момент*.

[IEC 60050-411:1996, 411-51-01, модифицированный: изменение указано курсивом]

3.5 **холостой ход [режим работы]** (no-load <operation>): Состояние машины, вращающейся при нулевой отдаваемой мощности (*но при всех других номинальных условиях работы*).

[IEC 60050-411:1996, 411-51-02, модифицированный: изменение указано курсивом]

3.6 **полная нагрузка** (full load): Наибольшая нагрузка, при которой обеспечивается работа машины при номинальных данных.

[IEC 60050-411:1996, 411-51-10]

3.7 **мощность при полной нагрузке** (full load value): Наибольшее значение мощности, устанавливаемой для машины, работающей с полной нагрузкой.

Примечание — Данное понятие применимо к мощности, вращающему моменту, току, частоте вращения и т. д.

[IEC 60050-411:1996, 411-51-11]

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

[IEC 60050-411:1996, 411-51-03]

3.9 **режим** (duty): Совокупность нагрузок, которые приложены к машине, включающая, если это необходимо, период пуска, электрического торможения, холостого хода и состояния покоя, а также их продолжительность и порядок чередования во времени.

[IEC 60050-411:1996, 411-51-06]

3.10 **типовой режим** (duty type): Продолжительный, кратковременный или периодический режимы, включающие одну или несколько нагрузок, остающихся неизменными в течение нормированного промежутка времени, или непериодический режим, в течение которого нагрузка и частота вращения изменяются в установленном диапазоне.

[IEC 60050-411:1996, 411-51-13]

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

[IEC 60050-411:1996, 411-51-09]

3.12 **вращающий момент при заторможенном роторе** (locked-rotor torque): Наименьший вращающий момент, развиваемый двигателем на его валу и определенный при всех угловых положениях заторможенного ротора при номинальных значениях напряжения и частоты питания.

[IEC 60050-411:1996, 411-48-06]

3.13 **ток при заторможенном роторе** (locked-rotor current): Наибольшее действующее значение тока, потребляемого двигателем из сети, измеренное при всех угловых положениях заторможенного ротора, при номинальных значениях напряжения и частоты питания.

[IEC 60050-411:1996, 411-48-16]

3.14 **минимальный вращающий момент в процессе пуска (двигателя переменного тока)** (pull-up torque <of an a.c. motor>): Наименьшее значение статического асинхронного момента, развиваемого двигателем в диапазоне скоростей от нуля до частоты вращения, соответствующей максимальному моменту сопротивления при данной частоте вращения.

Примечания

1 Это определение не применяется к тем асинхронным двигателям, у которых крутящий момент постоянно уменьшается с увеличением частоты вращения.

2 В дополнение к стационарным асинхронным моментам могут появляться моменты от высших гармоник, которые являются функцией угла нагрузки ротора, будут присутствовать на определенных скоростях. На таких скоростях ускоряющий момент может быть отрицательным для некоторых углов нагрузки ротора. Опыт и расчеты показывают, что это нестабильное рабочее состояние, и поэтому моменты от высших гармоник не препятствуют ускорению двигателя и исключаются из этого определения.

3.15 **максимальный (опрокидывающий) вращающий момент (двигателя переменного тока)** (breakdown torque <of an a.c. motor>): Наибольшее значение развиваемого асинхронным двигателем вращающего момента в установившемся режиме при номинальных значениях напряжения и частоты, не приводящего к непроизвольному снижению частоты вращения.

Примечание — Определение неприменимо к тем двигателям, у которых вращающий момент непрерывно понижается при возрастании частоты вращения.

3.16 **максимальный вращающий момент (синхронного двигателя)** (pull-out torque <of a synchronous motor>): Наибольший вращающий момент, развиваемый синхронным двигателем при синхронной частоте вращения и при номинальных значениях напряжения, частоты питания и тока возбуждения.

3.17 **охлаждение** (cooling): Процедура, посредством которой тепло, образующееся в результате потерь, имеющих место в машине, отдается первичному охладителю, который может непрерывно восстанавливаться или может сам охлаждаться вторичным охладителем в теплообменнике.

[IEC 60050-411:1996, 411-44-01]

3.18 **охлаждающая среда** (coolant): Среда, жидкость или газ, посредством которой происходит теплообмен.

[IEC 60050-411:1996, 411-44-02]

3.19 **первичная охлаждающая среда** (primary coolant): Среда, жидкость или газ, которая, находясь при более низкой температуре, чем узел машины и в контакте с ней, отводит тепло от этого узла.

[IEC 60050-411:1996, 411-44-03]

3.20 **вторичная охлаждающая среда** (secondary coolant): Среда, жидкость или газ, которая, находясь при более низкой температуре, чем первичный охладитель, отводит тепло, отдаваемое этим первичным охладителем, с помощью теплообменника или через внешнюю поверхность машины.

[IEC 60050-411:1996, 411-44-04]

3.21 **обмотка с непосредственным [внутренним] охлаждением** (direct cooled winding; inner cooled winding); Обмотка, охлаждаемая с помощью охлаждающей среды, протекающей в непосредственном контакте с охлаждаемой частью сквозь полые проводники, трубки, трубопроводы или каналы, являющиеся неотъемлемой частью обмотки внутри основной изоляции.

Примечание — Во всех случаях, когда «косвенное» или «непосредственное» не указано, подразумевается косвенно охлаждаемая обмотка.

[IEC 60050-411:1996, 411-44-08]

3.22 **обмотка с косвенным охлаждением** (indirect cooled winding): Косвенно охлаждаемая обмотка.

Примечание — Во всех случаях, когда «косвенное» или «непосредственное» не указано, подразумевается косвенная охлаждаемая обмотка.

[IEC 60050-411:1996, 411-44-09]

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

3.24 **момент инерции** (moment of inertia): Интегральная сумма произведений массы отдельных частей на квадраты расстояний (радиусов) их центров тяжести от заданной оси.

3.25 **установившееся тепловое состояние** (thermal equilibrium): Состояние, при котором превышения температуры различных частей машины изменяются не более чем на 2 К *в течение часа*.

Примечание — Термическое равновесие можно определить по графику повышения температуры во времени, когда прямые линии между точками в начале и в конце двух последовательных интервалов по полчаса каждый имеют градиент 2 К/ч или менее.

[IEC 60050-411:1996, 411-51-08, модифицированный: изменение указано курсивом]

3.26 **эквивалентная тепловая постоянная времени** (thermal equivalent time constant): Постоянная времени, определяющая экспоненциальную кривую, приближенно заменяющую реальную кривую изменения температуры системы, состоящей из нескольких элементов с различными постоянными времени нагрева, при внезапном изменении на конечную величину мощности источника нагрева.

3.27 **капсулированная обмотка** (encapsulated winding): Обмотка, полностью закрытая или герметизированная литой изоляцией.

[IEC 60050-411:1996, 411-39-06]

3.28 **номинальное значение коэффициента формы тока, питающего якорь [ротор] 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 максимально допустимого значения тока $I_{rms,\max N}$ к его среднему (за период) значению I_{avN} при номинальных условиях:

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

3.29 **коэффициент пульсации тока** (current ripple factor): Отношение разности наибольшего $I_{\max}$ и наименьшего $I_{\min}$ значений пульсирующего тока к двукратному среднему (за период) значению I_{av}:

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

Примечания

1 Для небольших значений текущей пульсации коэффициент пульсации может быть приблизительно определен по следующему выражению:

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

2 Вышеприведенное выражение может использоваться в качестве приближенного значения, если итоговое рассчитанное значение q_i равно или меньше 0,4.

Основой для определения этого отклонения должно быть измерение осциллографом (или сопоставимым прибором), а не показания амперметра. На осциллограмме следует провести линию через последовательные пики волны тока. Эта линия является огибающей волны тока. Отклонение представляет собой разницу между максимальной $I_{\max}$ и минимальной $I_{\min}$ ординатами этой огибающей.

3.30 **допустимое отклонение** (tolerance): Допускаемое отклонение измеренной величины от установленной в стандарте (техническом задании, технических условиях).

3.31 **типовое испытание** (type test): Испытание одной или более машин на соответствие установленным требованиям, вызванное изменениями конструкции или технологии.

Примечание — Типовое испытание может быть признано успешным, если оно проводилось на машине, которая имеет незначительные отклонения от номинальных данных или других характеристик, которые находятся в пределах допустимых отклонений. Данные отклонения должны быть согласованы.

[IEC 60050-411:1996, 411-53-01]

3.32 **контрольное испытание** (routine test): Испытание, которому подвергается каждая машина во время или после ее производства для определения соответствия определенным критериям.

[IEC 60050-411:1996, 411-53-02]

3.33 **разгонная скорость** (runaway speed): Максимальная скорость, достигаемая двигателем/генератором после полного снятия нагрузки в случае, если регулятор скорости не работает.

Примечания

1 Двигатель может быть также турбиной или двигателем внутреннего сгорания.

2 Для двигателей имеется в виду максимальное превышение скорости при отключении питания, которого может достичь двигатель, приводимый в действие подключенным оборудованием

[IEC 60050-411:1996, 411-17-23]

3.34 **основная изоляция** (main insulation): Изоляция вращающейся электрической машины, определяемая в соответствии IEC 60664-1

3.35 **машина с преобразователем** (converter capable machine): Электрическая машина, предназначенная для прямого запуска и подходящая для работы с силовым электронным преобразователем частоты без специальных фильтров.

Примечания

1 К таким двигателям относятся, помимо прочего, двигатели IEC Design N, NE, H или HE или NEMA Design A, B или C, на которые может распространяться регулирование энергоэффективности в ЕС, Северной Америке или других странах.

2 Двигатель с преобразователем предназначен для работы в пределах теплового класса системы изоляции; но поскольку содержание гармоник в выходном напряжении преобразователя варьируется в зависимости от топологии привода, конечному пользователю может потребоваться согласование с производителем.

3 См. IEC TS 60034-25 для получения информации об изменениях всех характеристик, таких как КПД и акустический шум, при работе двигателя с преобразователем частоты на преобразователе частоты.

3.36 **машина, работающая с преобразователем** (converter duty machine): Электрическая машина, предназначенная специально для работы с питанием от силового электронного преобразователя частоты с уровнем температуры в пределах указанного термического класса изоляции или термического класса.

Примечание — Такие двигатели не имеют IEC Design или NEMA Design и могут быть освобождены от регулирования энергоэффективности в ЕС, Северной Америке и других странах.

3.37 **напряжение на валу** (shaft voltage): Напряжение основной частоты питания, измеренное между концами вала электрической машины.

Примечания

1 Для получения дополнительной информации об основной причине напряжения на валу см. IEC TS 60034-24:2009, 5.5 и пункт 6.

2 Напряжение на валу основной частоты питания не следует путать с высокочастотным напряжением на валу, которое может быть вызвано в машинах с питанием от преобразователя высокочастотным синфазным импульсом тока.

4 Режимы работы

4.1 Определение режима работы

Режим работы электрических машин устанавливает потребитель (заказчик), который может описывать режим одним из следующих способов:

a) численно, когда нагрузка не изменяется или изменяется известным образом;

b) временным графиком изменяющихся величин;

c) путем выбора одного из типовых режимов от S1 до S10, не менее тяжелого, чем ожидаемый режим в эксплуатации.

Типовой режим должен быть обозначен соответствующей аббревиатурой, согласно 4.2, записанной после номинальной (базовой) нагрузки.

Выражения для коэффициента циклической продолжительности приведено на соответствующем рисунке каждого типового режима.

Момент инерции двигателя J_M и относительный ожидаемый термический срок службы *TL* изоляционных систем (см. приложение А) устанавливаются и обеспечиваются изготовителем, а значения момента инерции приводимого механизма указываются заказчиком.

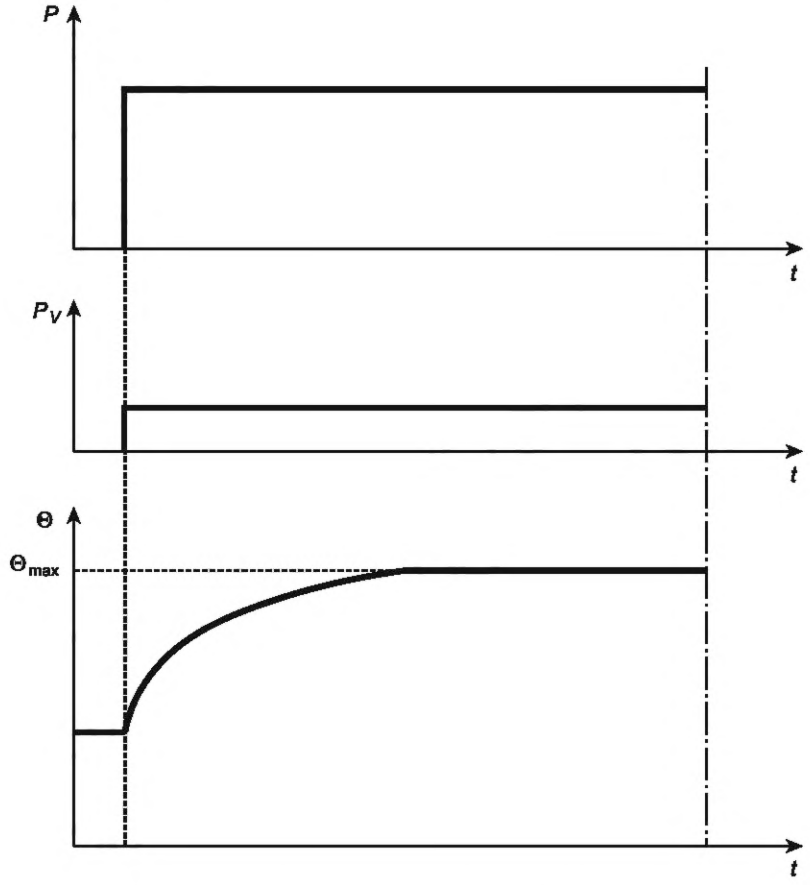
В случае, когда потребитель (заказчик) не устанавливает типовой режим, производитель считает, что предполагается использование машины для работы в типовом режиме S1 (продолжительном режиме).

4.2 Типовые режимы

4.2.1 Типовой режим S1 — продолжительный режим

Режим работы электрических машин с постоянной нагрузкой и продолжительностью, достаточной для достижения практически установившегося теплового состояния см. рисунок 1.

Обозначение режима — S1.



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

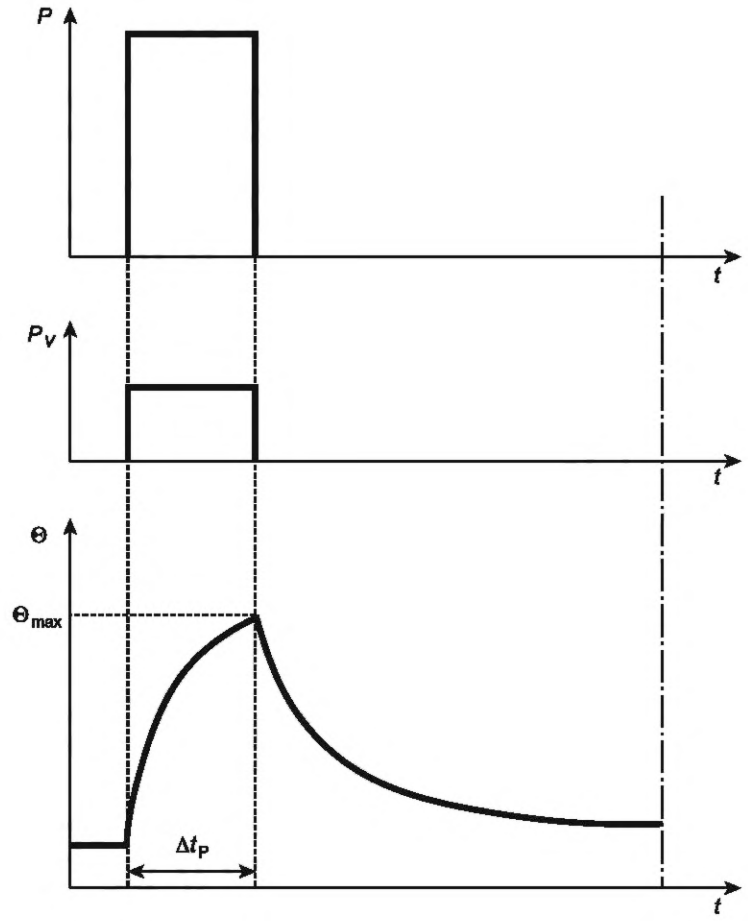
Рисунок 1 — Продолжительный режим — типовой режим S1

4.2.2 Типовой режим S2 — кратковременный режим

Режим работы при постоянной нагрузке в течение определенного времени, недостаточного для достижения практически установившегося теплового состояния, за которым следует состояние покоя длительностью, достаточной для того, чтобы температура машины сравнялась с температурой охлаждающей среды (агента) с точностью до 2 К — см. рисунок 2.

Обозначение режима — S2, за которым следует указание длительности периода нагрузки.

Пример — S2 60 мин.



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

Рисунок 2 — Кратковременный режим — типовой режим S2

4.2.3 Типовой режим S3 — повторно-кратковременный периодический режим

Примечания

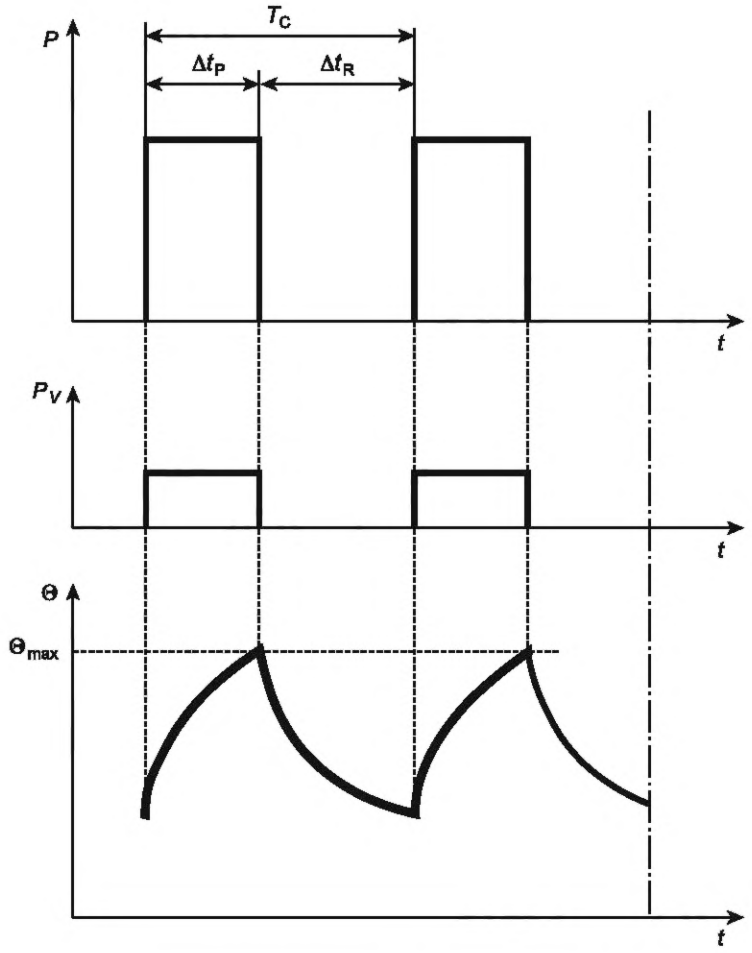
1 Это периодический режим, при котором тепловое равновесие не достигается в течение времени работы на нагрузку.

2 Для рабочих циклов с продолжительностью одного цикла нагрузки T_C, отличной от 10 мин, см. 5.2.3.

Последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых включает в себя время работы при постоянной нагрузке и время покоя — см. рисунок 3. В этом режиме цикл работы таков, что пусковой ток не оказывает существенного влияния на превышение температуры.

Обозначение режима — S3, далее следует коэффициент циклической продолжительности включения.

Пример — S3 25 %.



P — нагрузка; P_V — электрические потери; Θ — температура; Θ_{max} — максимальная достигнутая температура; t — время; T_C — время одного цикла загрузки; Δt_P — время работы с постоянной нагрузкой; Δt_R — время остановки или отключения питания машины

Коэффициент циклической продолжительности включения равен $\Delta t_p/T_C$.

Рисунок 3 — Повторно-кратковременный периодический режим — типовой режим S3

4.2.4 Типовой режим S4 — повторно-кратковременный периодический режим с пусками

Примечания

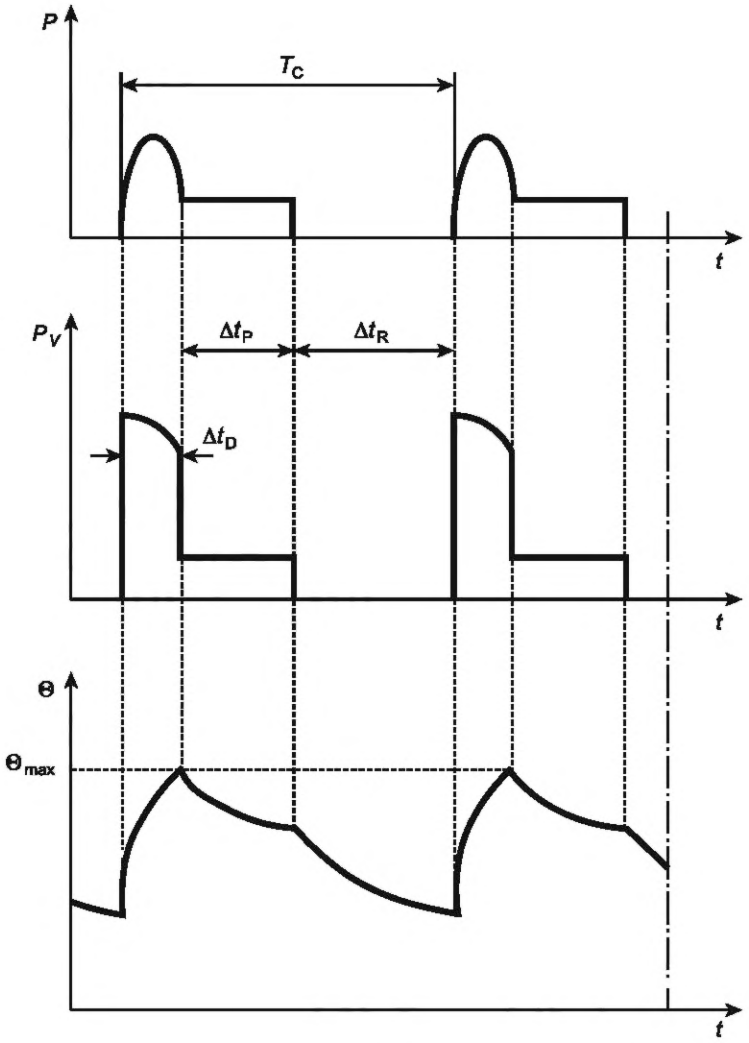
1 Это периодический режим, при котором тепловое равновесие не достигается в течение времени работы на нагрузку.

2 Для рабочих циклов с продолжительностью одного цикла нагрузки T_C, отличной от 10 мин, см. 5.2.3.

Последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых содержит относительно длинный пуск, время работы с постоянной нагрузкой и время покоя — см. рисунок 4.

Обозначение режима — S4, за которым следует коэффициент циклической длительности, момент инерции двигателя J_M и момент инерции нагрузки J_{ext}, причем оба последних приводятся к валу двигателя.

Пример — 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 достигнутая температура; t — время; T_C — время одного цикла загрузки; Δt_D — время запуска/ускорения; Δt_P — время работы при постоянной нагрузке; Δt_R — время в состоянии покоя (машина обесточена)

Коэффициент циклической продолжительности включения равен $(\Delta t_D + \Delta t_P)/T_C$

Рисунок 4 — Повторно-кратковременный периодический режим с пусками — типовой режим S4

4.2.5 Режим работы S5 — повторно-кратковременный режим с электрическим торможением

Примечания

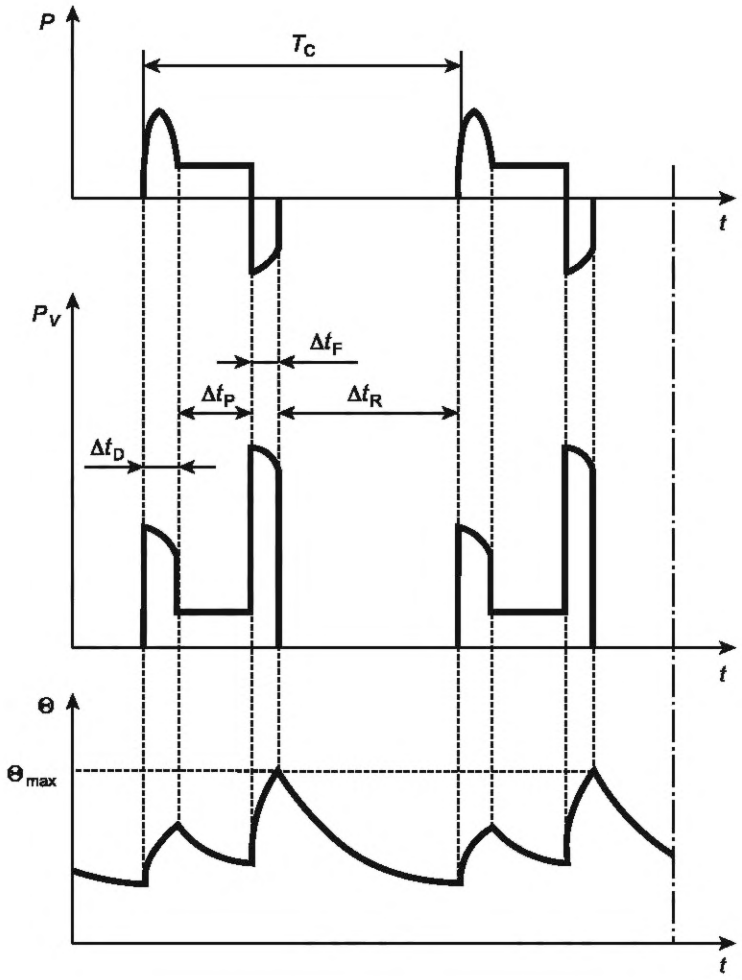
1 Это периодический режим, при котором тепловое равновесие не достигается в течение времени работы на нагрузку.

2 Для рабочих циклов с продолжительностью одного цикла нагрузки T_C, отличной от 10 мин, см. 5.2.3.

Последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых состоит из времени пуска, времени работы с постоянной нагрузкой, времени электрического торможения и времени покоя — см. рисунок 5.

Обозначение режима — S5, за которым следует коэффициент циклической длительности, момент инерции двигателя J_M и момент инерции нагрузки J_{ext}, причем оба последних приводятся к валу двигателя.

Пример — S5 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 достигнутая температура; t — время; T_C — время одного цикла загрузки; Δt_D — время запуска/ускорения; Δt_P — время работы при постоянной нагрузке; Δt_R — время при выключенном питании и в состоянии покоя, Δt_F — время электрического торможения

Коэффициент циклической продолжительности включения равен
$(\Delta t_D + \Delta t_P + \Delta t_F)/T_C$

Рисунок 5 — Повторно-кратковременный режим с электрическим торможением — типовой режим S5

4.2.6 Типовой режим S6 — непрерывный периодический режим с кратковременной нагрузкой

Примечания

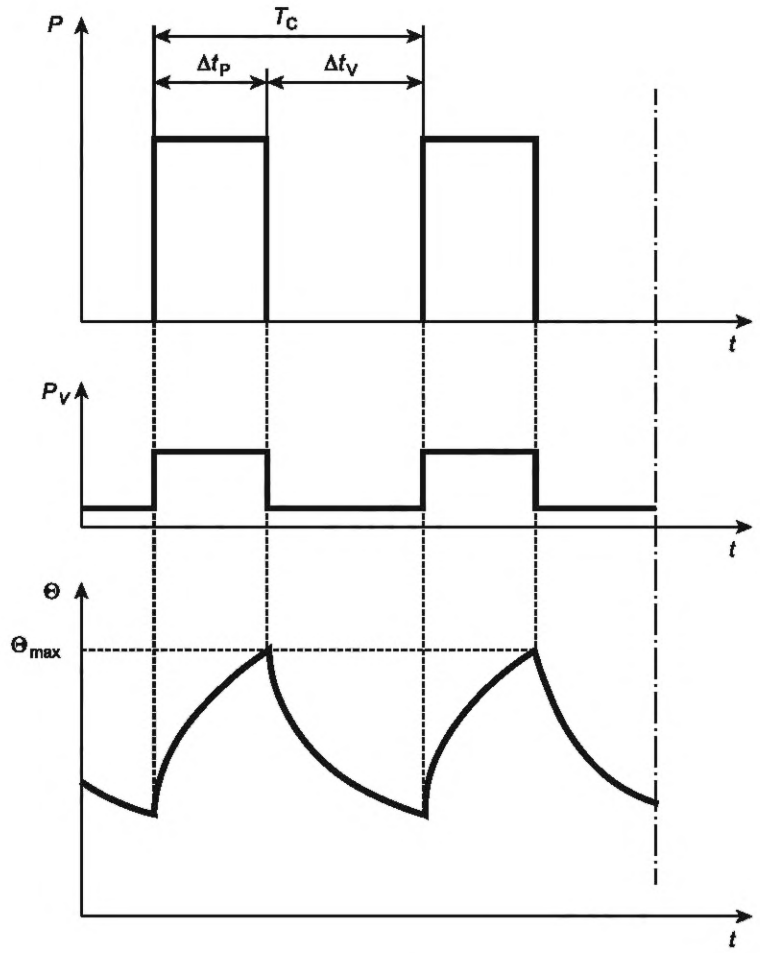
1 Это периодический режим, при котором тепловое равновесие не достигается в течение времени работы на нагрузку.

2 Для рабочих циклов с продолжительностью одного цикла нагрузки T_C, отличной от 10 мин, см. 5.2.3.

Последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых состоит из времени работы при постоянной нагрузке и времени работы на холостом ходу. Время покоя отсутствует (см. рисунок 6).

Обозначение режима — S6, далее следует коэффициент циклической продолжительности включения.

Пример — S6 40 %



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

Коэффициент циклической продолжительности включения равен $\Delta t_p/T_C$

Рисунок 6 — Непрерывный периодический режим с кратковременной нагрузкой — типовой режим S6

4.2.7 Типовой режим S7 — непрерывный периодический режим с электрическим торможением

Примечания

1 Это периодический режим, при котором тепловое равновесие не достигается в течение времени работы на нагрузку.

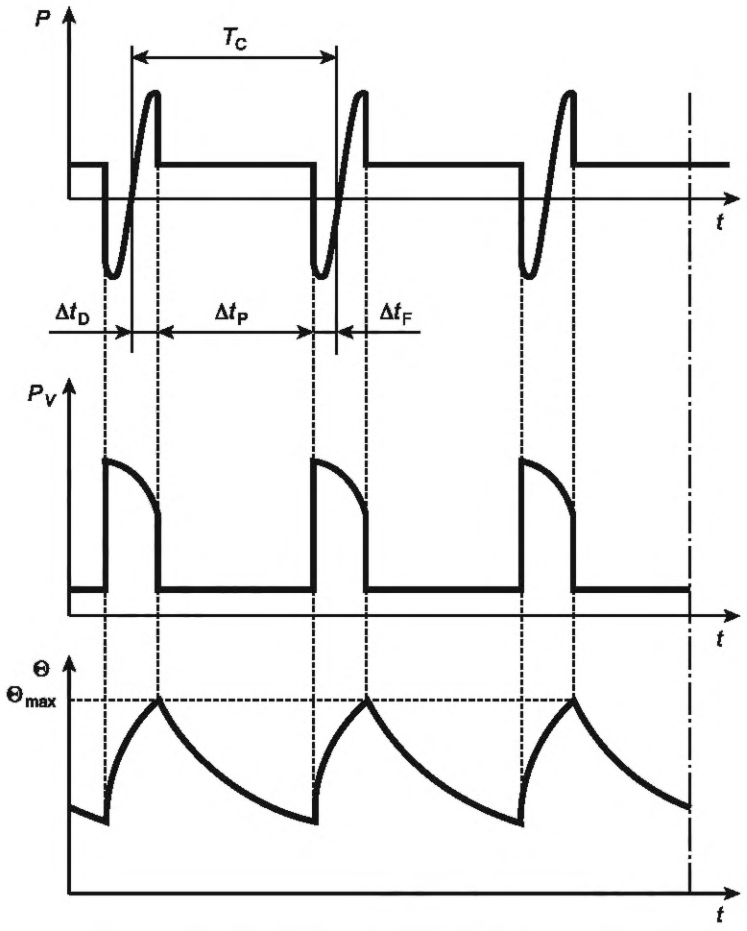
2 Для рабочих циклов с продолжительностью одного цикла нагрузки T_C, отличной от 10 мин, см. 5.2.3.

Последовательность одинаковых рабочих циклов, каждый из которых состоит из времени пуска, времени работы при постоянной нагрузке и времени электрического торможения. Время обесточивания и покоя отсутствует — см. рисунок 7.

Обозначение режима — S7, за которым следуют момент инерции двигателя J_M и момент инерции нагрузки J_{ext}, причем последние приводятся к валу двигателя.

Пример — 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 достигнутая температура; t — время; T_C — время одного цикла загрузки; Δt_D — время начала/ускорения; Δt_P — время работы при постоянной нагрузке; Δt_F — время электрического торможения

Коэффициент циклической продолжительности включения равен 1

Рисунок 7 — Непрерывный периодический режим с электрическим торможением — типовой режим S7

4.2.8 Типовой режим S8 — непрерывный периодический режим с взаимозависимыми изменениями нагрузки и частоты вращения

Примечания

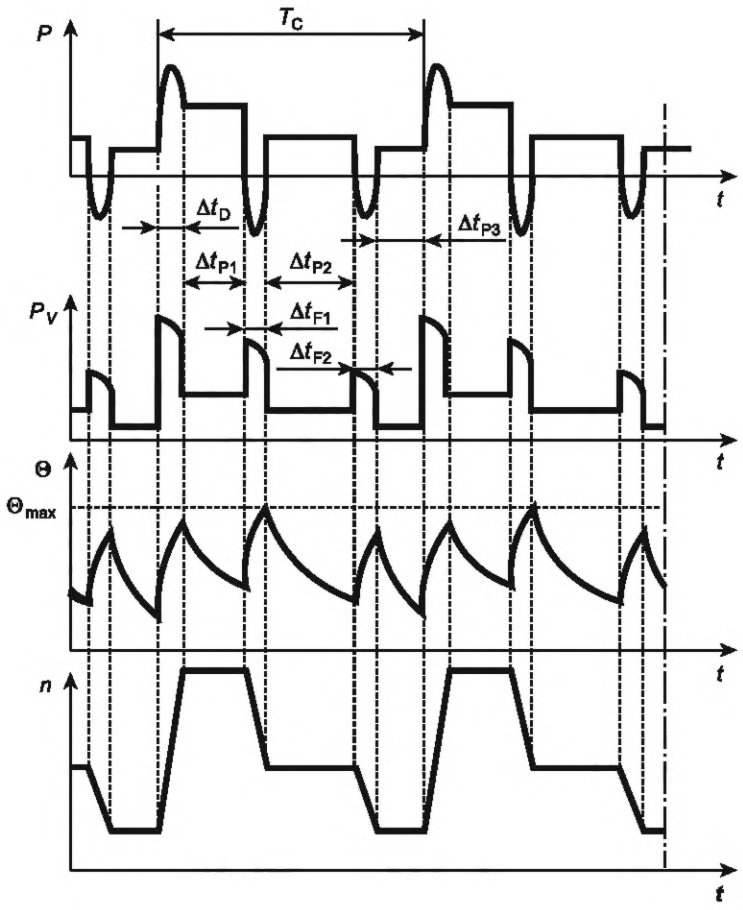
1 Это периодический режим, при котором тепловое равновесие не достигается в течение времени работы на нагрузку.

2 Для рабочих циклов с продолжительностью одного цикла нагрузки T_C, отличной от 10 мин, см. 5.2.3.

Последовательность одинаковых рабочих циклов, где каждый цикл состоит из времени работы при постоянной нагрузке, соответствующей заданной частоте вращения, за которым следуют один или более периодов работы при других постоянных нагрузках, соответствующих различным частотам вращения, что достигается, например, путем изменения числа полюсов в асинхронных двигателях. Время покоя отсутствует — см. рисунок 8.

Обозначение режима — S8, за которым следует момент инерции двигателя J_M и момент инерции нагрузки J_{ext}, приведенные к валу двигателя, вместе с нагрузкой, частотой вращения и циклическим коэффициентом продолжительности для каждого уровня частоты вращения.

Пример:	***S8***	$J_M = 0{,}5$ кг · м^2	$J_{ext} = 6$ кг · м^2	***16 kW***	***740 min^{-1}***	***30 %***
				40 kW	***1460 min^{-1}***	***30 %***
				25 kW	***980 min^{-1}***	***40 %***



P — нагрузка; P_V — электрические потери; Θ — температура; Θ_{max} — максимальная достигнутая температура; n — частота вращения; t — время; T_C — время одного цикла загрузки; Δt_D — время начала/ускорения; Δt_P — время работы при постоянной нагрузке (P1, P2, P3); Δt_F — время электрического торможения (F1, F2)

Коэффициент циклической продолжительности включения равен $(\Delta t_D + \Delta t_{P1})/T_C$; $(\Delta t_{F1} + \Delta t_{P2})/T_C$; $(\Delta t_{F2} + \Delta t_{P3})/T_C$

Рисунок 8 — Непрерывный периодический режим с взаимозависимыми изменениями нагрузки и частоты вращения — типовой режим S8

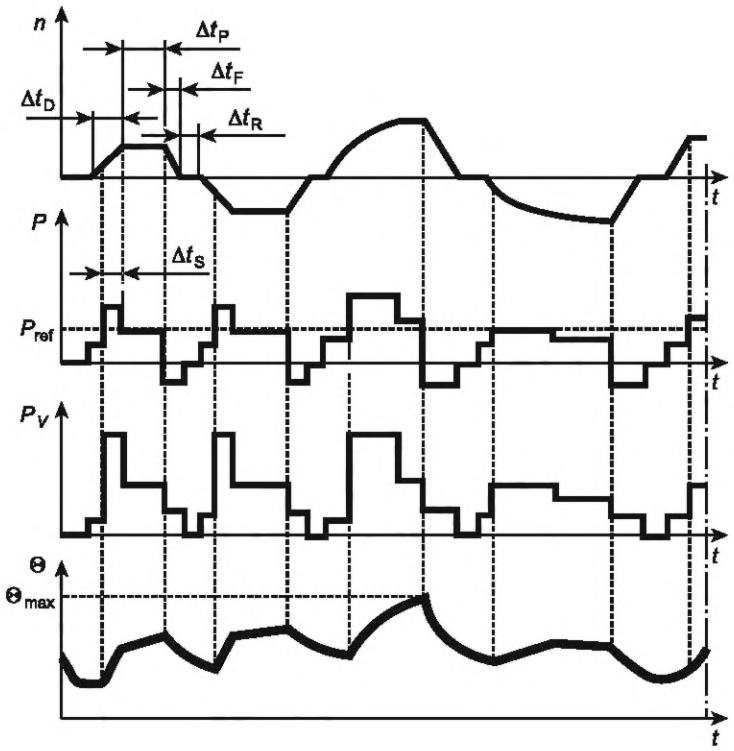
4.2.9 Типовой режим S9 — режим с непериодическими изменениями нагрузки и частоты вращения

Режим, при котором нагрузка и частота вращения изменяются не периодически в допустимом рабочем диапазоне. Данный режим может включать в себя перегрузки, которые могут значительно превышать базовую нагрузку — см. рисунок 9.

Обозначение режима — S9.

Для этого режима работы постоянная нагрузка, выбранная и основанная соответствующим образом на режиме работ S1, берется в качестве базового значения («P_{ref}» на рисунке 9) для концепции перегрузки.

Режим работы преобразователя также может быть определен в соответствии с типом режима S9 при работе с динамическими непериодическими колебаниями нагрузки и скорости. Подраздел 4.2 стандарта IEC TS 60034-25:2014 может рассматриваться как справочный при определении режима работы преобразователя.



P — нагрузка; P_{ref} — базовая нагрузка; P_V — электрические потери; Θ — температура; Θ_{max} — максимальная достигнутая температура; n — частота вращения; t — время; Δt_D — время запуска/ускорения; Δt_P — время работы при постоянной нагрузке; Δt_F — время электрического торможения; Δt_R — время, когда двигатель обесточен и не вращается; Δt_S — время работы с перегрузкой

Рисунок 9 — Режим с непериодическими изменениями нагрузки и частоты вращения — типовой режим S9

4.2.10 Типовой режим S10 — режим работы с дискретными постоянными нагрузками и частотами вращения

Режим, состоящий из ограниченного числа дискретных нагрузок (или эквивалентных нагрузок) и, по мере применения, частот вращения, при этом каждая комбинация нагрузки/частоты вращения сохраняется достаточное время для достижения практического установившегося теплового состояния машины — см. рисунок 10. Минимальная нагрузка в течение рабочего цикла может иметь и нулевое значение (холостой ход, покой или бестоковое состояние).

Обозначение режима — S10, за которым следуют величины $p/\Delta t$ в относительных единицах для соответствующей нагрузки и ее длительности, а также величина TL в относительных единицах для ожидаемой продолжительности теплового срока службы системы изоляции. Исходное значение для ожидаемого теплового срока службы представляет собой ожидаемый тепловой срок службы при номинальных показателях для непрерывного режима работы и допустимых пределов повышения температуры в зависимости от режима работы S1. В течение времени обесточенного и находящегося в состоянии покоя двигателя нагрузка должна быть обозначена индексом r.

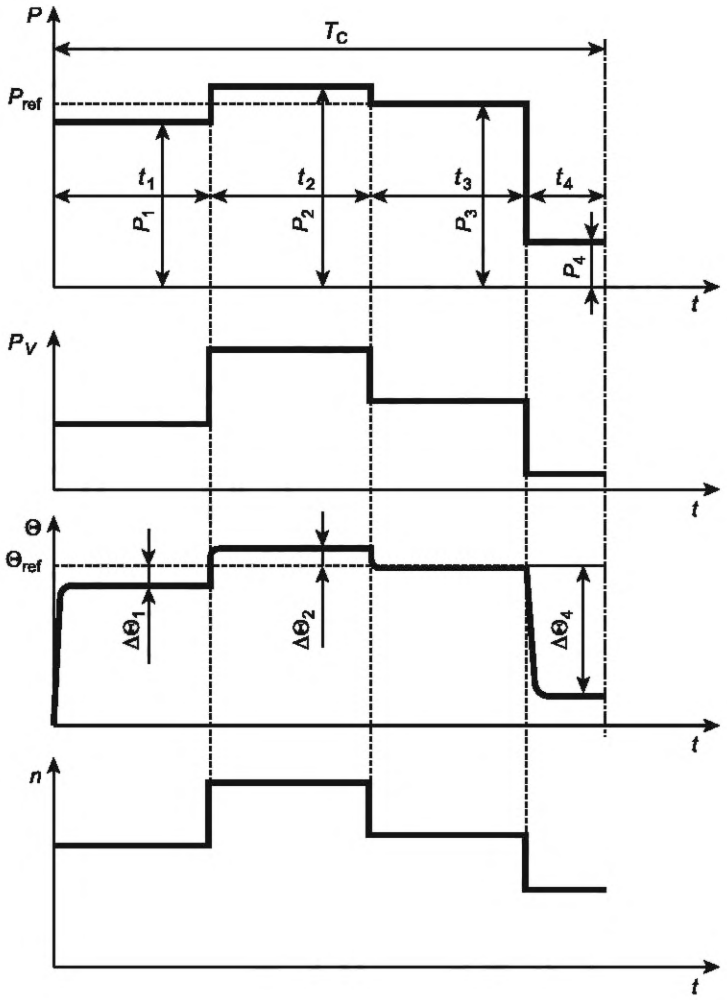
***Пример* — S10 $p/\Delta t$ = 1,1/0,4; 1/0,3; 0,9/0,2; r/0,1 TL = 0,6**

Значение *TL* должно быть округлено до ближайшего кратного 0,05. Рекомендации относительно значимости этого параметра и определения его значения приведены в приложении А.

Для этого типа нагрузки постоянная нагрузка, надлежащим образом выбранная и основанная на типе нагрузки S1, должна приниматься в качестве базового значения (P_{ref} на рисунке 10) для дискретных нагрузок.

Дискретные значения нагрузки обычно будут эквивалентными нагрузками, основанными на усреднении за определенный период времени. Нет необходимости, чтобы каждый цикл нагрузки был точно таким же, необходимо только, чтобы каждая нагрузка в цикле поддерживалась в течение достаточного времени для достижения теплового равновесия, и чтобы каждый цикл нагрузки можно было усреднять для получения одинаковой относительной продолжительности теплового ресурса.

Режим работы преобразователя можно также определить для режима работы S10 при работе с дискретными, т. е. нединамическими, непериодическими изменениями нагрузки и частоты вращения. Подпункт 4.2 стандарта IEC TS 60034-25:2014 можно использовать в качестве справочного материала при определении режима работы преобразователя.



P — нагрузка; P_i — исходная нагрузка; P_{ref} — базовая нагрузка; P_V — электрические потери; Θ — температура; $Θ_{ref}$ — опорная температура при базовой нагрузке в зависимости от типа нагрузки S1; *t* — время; t_i — время постоянной нагрузки в течение цикла; T_C — время одного цикла загрузки; $ΔΘ_i$ — разность между повышением температуры обмотки при каждой из различных нагрузок в течение одного цикла и повышением температуры в рабочем режиме S1 с базовой нагрузкой; *n* — частота вращения

Рисунок 10 — Режим работы с дискретными постоянными нагрузками и частотами вращения — типовой режим S10

5 Номинальные данные

5.1 Представление номинальных данных

Номинальные данные (см. 3.2) устанавливаются производителем. При этом производитель должен выбрать один из классов номинальных данных, определенных в 5.2.1—5.2.6. Обозначение класса номинальных данных должно быть записано после номинальной выходной мощности.

Когда вспомогательные компоненты (такие как реакторы, конденсаторы и т. д.) включаются производителем в состав машины, номинальные значения должны относиться к выводам питания всего устройства.

Если обозначение режима не указано, применяются номинальные данные для продолжительного режима работы.

Примечание — Это не относится к силовым трансформаторам, подключенным между машиной и источником питания.

Особые соображения требуются при присвоении номиналов машинам, питаемым от статических преобразователей. IEC TS 60034-25 дает рекомендации по этому вопросу.

5.2 Классы номинальных данных

5.2.1 Номинальные данные для продолжительного режима

Номинальные данные, при которых машина может работать неограниченное время и при этом соответствовать требованиям настоящего стандарта.

Данный класс номинальных данных соответствует типовому режиму S1 и обозначается как для режима S1.

5.2.2 Номинальные данные для кратковременного режима

Номинальные данные, при которых машина, включенная в сеть при температуре окружающей среды, может работать ограниченный период времени и при этом соответствовать требованиям настоящего стандарта.

Данный класс номинальных данных соответствует типовому режиму S2 и обозначается как для режима S2.

5.2.3 Номинальные данные для периодического режима

Номинальные данные, при которых машина может работать при циклических нагрузках и при этом соответствовать требованиям настоящего стандарта.

Данный класс номинальных данных соответствует одному из типов периодических режимов от S3 до S8 и обозначается как соответствующий типовой режим.

Если не оговорено иное, продолжительность одного цикла должна быть равна 10 мин и коэффициент циклической продолжительности включения должен быть равен одному из следующих значений:

15 %, 25 %, 40 %, 60 %.

5.2.4 Номинальные данные для непериодического режима

Номинальные данные, при которых машина может работать не периодически и при этом соответствовать требованиям настоящего стандарта.

Данный класс номинальных данных соответствует типовому непериодическому режиму S9 и обозначается как для режима S9.

5.2.5 Номинальные данные для режима с дискретными постоянными нагрузками и частотами вращения

Номинальные данные, при которых машина может работать с соответствующими нагрузками и скоростями рабочего режима S10 в течение неограниченного времени при соблюдении требований настоящего стандарта.

Максимально допустимая нагрузка в течение одного цикла должна учитывать все системы машины, например систему изоляции с учетом экспоненциального закона для относительного теплового ресурса, температуру подшипников и других частей. Если не указано иное в соответствующих стандартах IEC, максимальная нагрузка не должна превышать 1,15 величины нагрузки типа S1. Минимальная нагрузка может иметь значение ноль, машина работает без нагрузки или обесточена и находится в состоянии покоя. Соображения относительно применения этого класса номинальных данных приведены в приложении А.

Этот класс номинальных данных соответствует типовому режиму S10 и обозначается как для режима S10.

Примечание — Другие соответствующие стандарты могут определять максимальную нагрузку в терминах ограничения температуры обмотки (или превышения температуры) вместо нагрузки на единицу в зависимости от типа нагрузки S1.

5.2.6 Номинальные данные для эквивалентной нагрузки

Для испытаний выбирают номинальные данные такой эквивалентной нагрузки, при неизменном значении которой машина может работать до достижения установившегося теплового состояния при тех превышениях температуры обмотки статора, которые равны средним значениям превышения температуры в течение одного цикла выбранного типового режима.

При определении эквивалентной нагрузки следует учитывать изменения нагрузки, частоты вращения и охлаждения в пределах выбранного цикла нагрузки.

Этот класс номинальных данных, если он применяется, обозначается как «equ».

5.3 Выбор класса номинальных данных

Машина, изготовленная для общего применения, должна выдерживать номинальную нагрузку при длительной эксплуатации и быть способной выполнять типовой режим S1.

Если режим не был указан заказчиком, применяется типовой режим S1, и присвоенные номинальные данные должны соответствовать номинальным данным для непрерывного режима.

Если машина предназначена для работы в кратковременном режиме, она должна основываться на типовом режиме S2 (см. 4.2.2).

Если машина предназначена для работы с переменными нагрузками или нагрузками, включающими время, когда машина работает без нагрузки или время, когда машина находиться в обесточенном состоянии и в состоянии покоя, номинальные данные должны быть как для периодической нагрузки, основанной на типе нагрузки, выбранном из режимов S3—S8 (см. 4.2.3—4.2.8).

Если машина предназначена для непериодических переменных нагрузок с переменными скоростями, включая перегрузки, номинальные данные должны быть как для непериодической нагрузки, основанной на типе нагрузки S9 (см. 4.2.9).

Если машина предназначена для дискретных постоянных нагрузок, включая времена перегрузок или периоды без нагрузки (или обесточенные состояния и состояния покоя), то номинальные данные должны быть как с дискретными постоянными нагрузками, основанными на типе нагрузки S10 (см. 4.2.10).

5.4 Определение номинальной выходной мощности в зависимости от типового режима

При определении номинальных данных:

- для типовых режимов S1—S8 за номинальную выходную мощность принимается значение постоянной мощности нагрузки согласно 4.2.1—4.2.8;
- для типовых режимов S9 и S10 за номинальную выходную мощность принимается базовая нагрузка, соответствующая типовому режиму S1, согласно 4.2.9 и 4.2.10.

5.5 Номинальная мощность

5.5.1 Генераторы постоянного тока

Номинальная мощность — это мощность на выводах, которая должна быть выражена в ваттах, Вт.

5.5.2 Генераторы переменного тока

Номинальная мощность — это полная мощность на выводах, которая должна быть выражена в вольт-амперах, ВА, вместе с коэффициентом мощности или активная мощность на выводах, выраженная в ваттах, Вт.

Номинальный коэффициент мощности для синхронных генераторов может составлять от 0,8 до 0,95 (перевозбуждение) в зависимости от номинальной мощности генератора.

Примечание — P—Q диаграмма (диаграмма мощности), показывающая предельные значения работы, предоставляет более подробную информацию о характеристиках генератора.

5.5.3 Двигатели

Номинальная мощность представляет собой механическую мощность на валу и должна быть выражена в ваттах, Вт.

Примечание — В некоторых странах практикуется, чтобы механическая мощность, имеющаяся на валах двигателей, выражалась в лошадиных силах (1 л.с. эквивалентна 745,7 Вт) или в метрических лошадиных силах (1 л.с (без точек) эквивалентна 736 Вт).

5.5.4 Синхронные компенсаторы

Номинальная выходная мощность представляет собой реактивную мощность на выводах и должна быть выражена в вольт-амперах, ВА, в режиме недовозбуждения и в режиме перевозбуждения.

5.6 Номинальное напряжение

5.6.1 Генераторы постоянного тока

Для генераторов, предназначенных для работы в согласованном диапазоне напряжения, номинальная выходная мощность и ток должны применяться при самом высоком напряжении диапазона, если не указано иное (см. также 7.3).

5.6.2 Генераторы переменного тока

Для генераторов, предназначенных для работы в согласованном диапазоне изменения напряжений, номинальная выходная мощность и коэффициент мощности должны применяться при любом напряжении диапазона, если не указано иное (см. также 7.3).

5.6.3 Двигатели переменного тока

Двигатели переменного тока могут иметь два или более различных номинальных напряжений или диапазон номинальных напряжений, как указано на заводской табличке (см. 10.4.2). Во всех этих случаях изменения напряжения (и частоты) — в соответствии с 7.4.

5.7 Координация номинальных напряжений и мощностей

Создание машин всех номинальных мощностей для всех номинальных напряжений нецелесообразно. В целом, исходя из практики изготовления, для машин переменного тока предпочтительные номинальные напряжения выше 1 кВ в зависимости от номинальных мощностей приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Минимальная мощность

Номинальное напряжение, кВ	Минимальная номинальная мощность, кВт (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 более чем одним набором номинальных данных

Для машин с более чем одним набором номинальных данных содержание каждого из наборов должно соответствовать настоящему стандарту.

Для многоскоростных машин номинал должен быть указан для каждой частоты вращения.

Когда номинальная величина (выходная мощность, напряжение, частота вращения и т. д.) может принимать несколько значений или непрерывно изменяться в некоторых пределах, номинальные значения должны быть указаны для этих значений или в этих пределах. Это положение не применяется к изменениям напряжения и частоты во время работы, как определено в 7.3, или к соединениям звезда — треугольник, предназначенным для запуска.

6 Условия эксплуатации

6.1 Общие положения

Электрические машины должны быть пригодны для работы, хранения и транспортировки в условиях, указанных ниже, если иное не оговорено. Температуры на входе холодного теплоносителя для различных типов охлаждения указаны в таблице 5. Для условий, отличных от приведенных в разделе 6, проводят корректировку показателей, указанных в таблице 5.

Для машин, работающих вне диапазона условий, указанных в данном стандарте, условия работы оговариваются дополнительно к указанным в стандарте.

6.2 Высота

Высота не должна превышать 1000 м над уровнем моря. При проектировании машины для работы на больших высотах следует учитывать, что пробивное напряжение будет уменьшаться с уменьшением давления воздуха.

6.3 Максимальная температура окружающего воздуха

Температура окружающего воздуха не должна превышать 40°С.

6.4 Минимальная температура окружающего воздуха

Если иное не согласовано изготовителем и заказчиком, температура окружающего воздуха должна быть не менее минус 15 °С для всех машин, кроме машин с любым из следующих компонентов, для которых температура окружающей среды должна быть не менее 0 °С:

a) номинальная мощность более 3300 кВт (кВ · А) на каждые 1000 мин$^{-1}$;
b) номинальная мощность менее 600 Вт (или В · А);
c) наличие коллектора;
d) наличие подшипника скольжения;
e) вода в качестве первичного или вторичного теплоносителя.

6.5 Температура охлаждающей воды

Нормативную температуру охлаждающего теплоносителя см. в таблице 5. Температуры для охлаждающей воды см. в таблице 10. Температура охлаждающей воды должна быть не ниже плюс 5 °С.

6.6 Остановка, хранение и транспортировка

Когда температуры ниже, чем указано в 6.4, во время транспортировки, хранения или после простоя в состоянии отключения, заказчик должен проинформировать изготовителя и указать ожидаемую минимальную температуру.

Могут потребоваться специальные меры перед подачей питания на машину после длительных периодов остановки, хранения и транспортировки. Специальные меры могут также потребоваться в периоды простоя. Смотрите инструкции производителя.

6.7 Чистота водородного теплоносителя

Машины с водородным охлаждением должны работать с номинальной мощностью в номинальных условиях с охлаждающей средой, содержащей не менее 98 % водорода по объему.

По соображениям безопасности содержание водорода должно постоянно поддерживаться на уровне 90 % или более, при этом предполагается, что другим газом в смеси является воздух.

Для расчета эффективности в соответствии с IEC 60034-2 (все части) стандартный состав газообразной смеси должен составлять по объему 98 % водорода и 2 % воздуха при указанных значениях давления и температуры повторно охлажденного газа, если иное не согласовано. Вентиляционные потери должны рассчитываться при соответствующей плотности водорода.

7 Условия эксплуатации, обусловленные электрической сетью

7.1 Электроснабжение

Для трехфазных машин переменного тока с номинальной частотой 50 или 60 Гц, предназначенных для непосредственного присоединения к электрическим сетям, номинальные напряжения следует выбирать по IEC 60038.

Примечание — Напряжения питания крупных высоковольтных машин переменного тока допускается выбирать исходя из условий получения оптимальных рабочих характеристик.

Для электродвигателей переменного тока, питаемых от преобразователей, данные ограничения по номинальным значениям напряжения, частоты и форме кривой напряжения не применяются. Напряжение в этом случае должно быть выбрано по согласованию с потребителем.

Для электрических машин с преобразователем или преобразовательной нагрузкой с системами изоляции типа I или типа II в соответствии с IEC 60034-18-41 или IEC 60034-18-42 производитель может

назначить класс импульсной прочности изоляции (IVIC — Impulse Voltage Insulation Class) для системы изоляции.

В случае электрической машины с преобразователем или преобразовательной нагрузкой номинальной мощностью более 1 кВт с системой изоляции типа I и присвоенным IVIC, система изоляции должна быть подходящей для IVIC C для межфазного напряжения и IVIC B для напряжения фаза — земля или по иному соглашению пользователя и производителя.

В случае электрической машины с преобразователем или преобразовательной нагрузкой с номинальным напряжением $U_N \leq 1$ кВ с системой изоляции типа II и назначенным IVIC, система изоляции должна быть подходящей для IVIC 5 для межфазных напряжений и IVIC 4 для напряжения фаза — земля или по иному соглашению пользователя и производителя.

В случае электрической машины с преобразователем или преобразовательной нагрузкой с номинальным напряжением $U_N > 1$ кВ с системой изоляции типа II изготовитель электрической машины несет ответственность за способность изоляции обмотки электрической машины выдерживать импульсное напряжение. Поскольку конструкции приводов сильно различаются и более крупные двигатели представляют собой машины, которые в основном проектируются индивидуально, в случае назначения IVIC нецелесообразно определять его уровень по умолчанию (см. IEC TS 60034-25). Если конструкция преобразователя частоты известна, можно использовать IEC TS 61800-8 для указания пикового напряжения на клеммах двигателя и, следовательно, необходимого для двигателя IVIC.

Уровень IVIC должен быть указан в документации и предпочтительно на паспортной табличке (см. 10.2).

Примечание — Для получения дополнительной информации о значительных особенностях машин с преобразователем — см. IEC TS 60034-25.

Любое переключение на шинах или быстрое повторное включение высоковольтных машин, что может произойти, например, из-за скачка напряжения, может привести к высоким пиковым токам, угрожающим лобовым частям обмотки статора, и к высокому пиковому крутящему моменту, до 20-кратного номинального крутящего момента, угрожающего механической прочности конструкции, включая муфту, ведущее или ведомое оборудование. Поэтому переключения на шинах или быстрое повторное включение разрешается только в том случае, если это оговорено и принято производителями электрических машин и приводного оборудования.

Для асинхронных машин мощностью ≤10 МВт или МВ · А допускается медленное повторное включение, с постоянной времени, превышающей в 1,5 раза постоянную времени разомкнутой цепи, если это указано и принято изготовителями электрической машины и приводимого оборудования. Для машин мощностью >10 МВт или МВ · А допустимое время для медленного повторного включения должно определяться с помощью анализа переходного процесса в системе машина — сеть (нагрузка) и это время считается приемлемым, если оно принимается производителями электрических машин и приводимого оборудования.

7.2 Форма и симметрия напряжений и токов

7.2.1 Двигатели переменного тока

7.2.1.1 Двигатели переменного тока, предназначенные для присоединения к сети переменного тока фиксированной частоты, независимо от того, локальная она или централизованная, должны быть пригодны для работы при напряжении питания, коэффициент нелинейных искажений напряжения *HVF* которого не превышает:

- 0,02 для однофазных и трехфазных двигателей, включая синхронные двигатели, кроме двигателей исполнения N (см. IEC 60034-12), если иное не заявлено изготовителем;
- 0,03 для двигателей исполнения N.

HVF рассчитывается по следующей формуле:

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

где u_n — отношение напряжения n гармонической составляющей U_n к номинальному напряжению U_N;

n — номер гармонической составляющей напряжения (некратные трем в случае трехфазных асинхронных двигателей);

k = 13 или $k = 6q \pm 1$ для двигателей, работающих в автономной сети (q — число пазов на полюс и фазу).

Трехфазные двигатели должны быть способны выдавать номинальную мощность при работе от трехфазной сети с напряжением, содержащим составляющую обратной последовательности, не превышающую 1 % составляющей прямой последовательности в течение длительного периода времени или 1,5 % — в течение короткого периода, не превышающего нескольких минут, а также составляющую нулевой последовательности, не превышающую 1 % составляющей прямой последовательности.

Если при работе двигателя с номинальной нагрузкой коэффициент нелинейных искажений напряжения *HVF* и составляющие обратной и нулевой последовательностей достигают предельно допустимых значений одновременно, то работа при таких условиях не должна приводить к недопустимому перегреву двигателя. Рекомендуется, чтобы температуры или превышения температуры, возникающие в результате работы при указанных условиях, не превышали значений, установленных в настоящем стандарте, более чем на 10 К.

В зоне действия больших однофазных нагрузок (например, вблизи индукционных печей), а также в сельских местностях и в случае смешанной промышленной и бытовой сети искажение напряжения может выходить за указанные выше предельные значения. В таких случаях необходимо специальное согласование.

7.2.1.2 Двигатели переменного тока, питаемые от статических преобразователей, должны быть способны работать при питающем напряжении с более высоким содержанием гармоник (см. IEC TS 60034-25).

Примечание — Если питающее напряжение существенно отличается от синусоидального, например при питании от статических преобразователей, то при определении рабочих характеристик необходимо учитывать эффективные значения как полной волны напряжения, так и его основной гармоники.

7.2.2 Генераторы переменного тока

Трехфазные генераторы переменного тока должны быть пригодны для питания сетей, предназначенных для работы от симметричного и синусоидального напряжения:

a) при этом ток имеет коэффициент нелинейных искажений *HCF* не более 0,05;

b) система токов в цепи такова, что ни составляющая обратной последовательности, ни составляющая нулевой последовательности не превышают 5 % составляющей тока прямой последовательности, если в стандартах или технических условиях на конкретные типы машин не установлены более жесткие требования.

HCF рассчитывается по следующей формуле:

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

где i_n — отношение тока n гармонической составляющей I_n к номинальному току I_N;

n — номер гармонической составляющей тока;

k = 13.

В случаях, когда при работе генератора с номинальной нагрузкой предельные значения коэффициента нелинейных искажений и несимметрии токов возникают одновременно, генератор не должен чрезмерно греться. Рекомендуется, чтобы температуры или превышения температуры, возникающие в результате работы при указанных условиях, не превышали значений, установленных в настоящем стандарте, более чем на 10 К.

7.2.3 Синхронные машины

Трехфазные синхронные машины, если не указано иное, должны допускать продолжительную работу в несимметричных системах при токах в фазах не выше номинального, а также кратковременную работу в аварийных режимах, если относительная величина тока обратной последовательности I_2/I_N в длительных режимах и произведение квадрата относительной величины тока обратной последовательности на время $(I_2/I_N)^2 \cdot t$ в кратковременном режиме не превышают значений, указанных в таблице 2.

Таблица 2 — Условия работы синхронных машин в несимметричных режимах

Пункт	Тип машины	Максимальное значение I_2/I_N при продолжительной работе	Максимум $(I_2/I_N)^2 \cdot t$ в секундах для работы в аварийных условиях
	Явнополюсные машины		
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 обмотки возбуждения:		
	двигатели	0,08	15
	генераторы	0,05	15
	синхронные компенсаторы	0,08	15
	Неявнополюсные машины		
3	Косвенное охлаждение обмоток статора и ротора:		
	воздухом	0,1	15
	водородом	0,1	10
4	Непосредственное (внутреннее) охлаждение обмоток ротора машин мощностью:		
	до 350 МВ · А	0,08	8
	св. 350 до 900 МВ · А	[a]	[b]
	св. 900 до 1 250 МВ · А	[a]	5
	св. 1 250 до 1 600 МВ · А	0,05	5

[a] Для этих машин значение I_2/I_N рассчитывается следующим образом:

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

[b] Для этих машин значение $(I_2/I_N)^2 \cdot t$ в секундах рассчитывается следующим образом:

$$(I_2/I_N)^2 \cdot t = 8 - 0{,}005\,45\,(S_N - 350),$$

где в двух сносках S_N — номинальная полная электрическая мощность в МВ · А.

7.2.4 Двигатели постоянного тока, питаемые от статических преобразователей

При питании двигателей постоянного тока от преобразователей пульсации напряжения и тока влияют на работу машины. По сравнению с двигателями, питаемыми непосредственно от источника постоянного тока, в случае применения преобразователей возрастают потери и ухудшаются условия коммутации. Поэтому двигатели мощностью свыше 5 кВт, предназначенные для питания от статических преобразователей, необходимо конструировать с учетом специфических условий такого электроснабжения. Изготовитель двигателя, если считает необходимым, может предусмотреть установку внешнего индуктивного сопротивления для уменьшения пульсации питающего напряжения и тока.

Питание от статического преобразователя должно быть отражено идентификационным кодом, имеющим следующую структуру:

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

где *CCC* — это идентификационный код из таблицы 3, основанный на IEC 61148;

U_{aN} состоит из трех или четырех цифр, обозначающих номинальное переменное напряжение на входе преобразователя, В;

f состоит из двух цифр, обозначающих номинальную входную частоту, Гц;

L состоит из одной, двух или трех цифр, обозначающих последовательную индуктивность, добавляемую извне в цепь якоря двигателя, мГн. Если это ноль, то *L* может быть опущено.

Таблица 3 — Обозначение символа *CCC*

Идентификационный код *CCC*	Конфигурация с 1 парой (имя конфигурации)	Номер пары «m» для подразделений в IEC 61148	Пункт № и заголовок в IEC 61148
Тип A	Тиристор+тиристор (полный мост)	m = 3	5.1.3.2 Мостовое соединение
Тип B	Тиристор+диод (смешанный мост)	m = 3	То же
Тип C	Тиристор+тиристор (полный мост)	m = 2	То же
Тип D	Тиристор+диод (смешанный мост)	m = 2	То же

Двигатели с номинальной мощностью не более 5 кВт вместо привязки к конкретному типу преобразователя статической мощности могут быть спроектированы для использования с любым преобразователем статической мощности, с внешней индуктивностью или без нее, при условии, что номинальный форм-фактор, для которого двигатель был изготовлен, не будет превышен, и что уровень изоляции цепи якоря двигателя соответствует номинальному переменному напряжению на входе преобразователя статической мощности.

Во всех случаях предполагается, что неравномерность выходного тока преобразователя статической мощности настолько мала, что приводит к коэффициенту пульсации тока не выше 0,1 при номинальных условиях.

7.3 Напряжение при пуске двигателей переменного тока

Двигатель переменного тока запускается только в том случае, если его пусковой момент адекватно согласован с противодействующим моментом и инерцией нагрузки. Для трехфазных односкоростных двигателей переменного тока двигатель должен быть способен запускаться при 90 % номинального напряжения при моменте нагрузки, пропорциональном квадрату частоты вращения, до 70 % номинального крутящего момента при номинальной частоте вращения и инерции нагрузки до 50 % инерции двигателя, если заранее не указано иное значение.

Примечания

1 См. IEC TS 60034-25 для получения информации о машинах с преобразователями.

2 Пусковые характеристики двигателей конструкции N см. в МЭК 60034-12.

7.4 Отклонения напряжения и частоты при работе

Для машин переменного тока, предназначенных для использования в сетях с фиксированной частотой, питаемых от генератора переменного тока, работающего от автономной или централизованной сети параллельно с мощной сетью, комбинации одновременных отклонений напряжения и частоты определяют зонами A или B в соответствии с рисунком 11. Для генераторов или синхронных компенсаторов, подпадающих под действие IEC 60034-3, и для гидрогенераторов, подпадающих под действие IEC 60034-33, применяют разные предельные значения напряжения и частоты, как определено в этих стандартах.

Для машин постоянного тока, которые непосредственно подсоединены к источникам постоянного тока, зоны A и B применимы только по отношению к изменениям напряжения.

Машина должна быть способна выполнять свою основную функцию, указанную в таблице 4, при продолжительной работе внутри зоны A. Однако при этом она может не полностью обеспечивать свои рабочие характеристики, соответствующие номинальным значениям напряжения и частоты, возможны их некоторые отклонения, как представлено на рисунке 11. Превышения температуры могут быть выше, чем при номинальных значениях напряжения и частоты.

Машина должна быть способна выполнять свою основную функцию внутри зоны B, однако при этом могут иметь место большие, чем в зоне A, отклонения ее рабочих характеристик от характеристик при номинальных напряжении и частоте. Превышения температуры будут выше, чем при номинальных значениях напряжения и частоты, и при работе в зоне A. Продолжительная работа за пределами зоны B не рекомендуется.

В практических применениях и условиях эксплуатации иногда требуется машина для работы вне периметра зоны А. Такие отклонения должны быть ограничены по значению, продолжительности и частоте возникновения. При этом необходимо, если это практически возможно, принимать быстрые меры по ограничению негативного воздействия указанных режимов на машину, например уменьшением ее выходной мощности, что может предотвратить сокращение срока службы машины из-за температурных воздействий.

Для машин, которые работают при температурах выше их класса изоляции, на рисунке 12 предлагается график в качестве ориентировочного руководства, показывающий возможное снижение выходной мощности в зависимости от комбинированного изменения напряжения и частоты, которое может ограничить, но не обязательно полностью избежать сокращения срока службы машины. Комбинированное изменение напряжения и частоты рассчитывается по формуле

$$|\Delta\varnothing| = \left| \frac{U - U_N}{U_N} - \frac{f - f_N}{f_N} \right|.$$

Эксплуатация за пределами зоны А также может существенно повлиять на акустический шум, вибрацию и магнитное притяжение.

Примечания

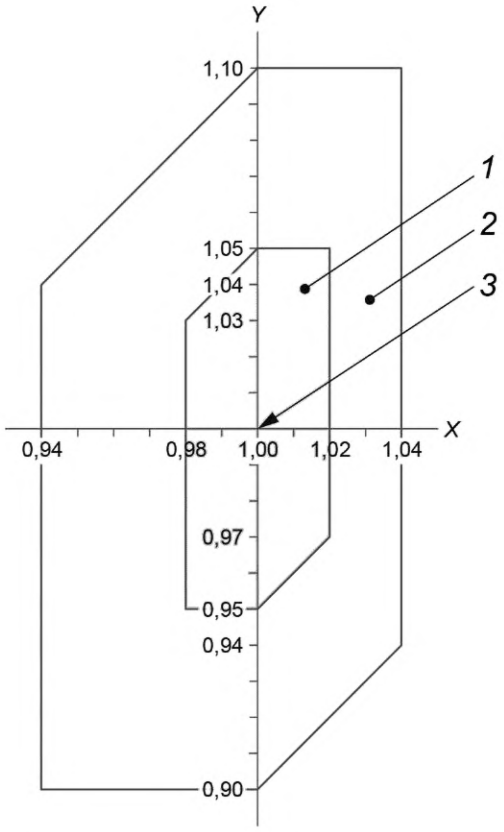
1 Пределы превышения температуры или температурные предельные значения в соответствии с настоящим стандартом применяются в расчетной точке и могут постепенно повышаться по мере удаления рабочей точки от расчетной. Для границ зоны А температура повышается и обычно она превышает предельные значения, указанные в настоящем стандарте, примерно на 10 К; допускается значительное повышение температуры в горячей точке.

2 Если по эксплуатационным условиям требуется непрерывная эксплуатация машины по периметру зоны В при номинальной мощности, заказчик может заранее указать это для требуемых номиналов машины (т. е. номинальной мощности при номинальных напряжении и частоте или диапазона номинальных напряжений), что должно учитываться при проектировании.

3 Для машин, на которые распространяется стандарт IEC 60034-3, применяются разные предельные значения напряжения и частоты.

Таблица 4 — Основные функции машин

Пункт	Тип машин	Основная функция
1	Генератор переменного тока, исключая пункт 5	Номинальная полная мощность, кВ · А, при номинальном коэффициенте мощности, если он контролируется отдельно
2	Двигатель переменного тока, исключая пункт 3	Номинальный крутящий момент, Н · м
3	Синхронный двигатель	Номинальный крутящий момент, Н · м, при котором возбуждение поддерживает либо номинальный ток, либо номинальный коэффициент мощности, где это регулируется отдельно
4	Синхронный компенсатор, исключая пункт 5	Номинальная реактивная мощность, кВ · А в зоне, применимой к генератору (см. рисунок 11), если не согласовано иное
5	Синхронный генератор с приводом от паровых турбин или газовых турбин сгорания и синхронный компенсатор с номинальной мощностью ≥ 10 МВ · А	См. IEC 60034-3
6	Генератор постоянного тока	Номинальная мощность, кВт
7	Двигатель постоянного тока	Номинальный крутящий момент, Н · м, двигателя с независимым возбуждением, поддерживающим номинальную частоту вращения, которая регулируется отдельно



Ось *X* — частота, отн. ед.; Ось *Y* — напряжение, отн. ед.;
1 — зона А; *2* — зона В (вне зоны А); *3* — точка, соответствующая номинальным параметрам

Рисунок 11 — Пределы напряжения и частоты для двигателей и генераторов, за исключением генераторов по IEC 60034-3 и гидрогенераторов, подпадающих под действие IEC 60034-33

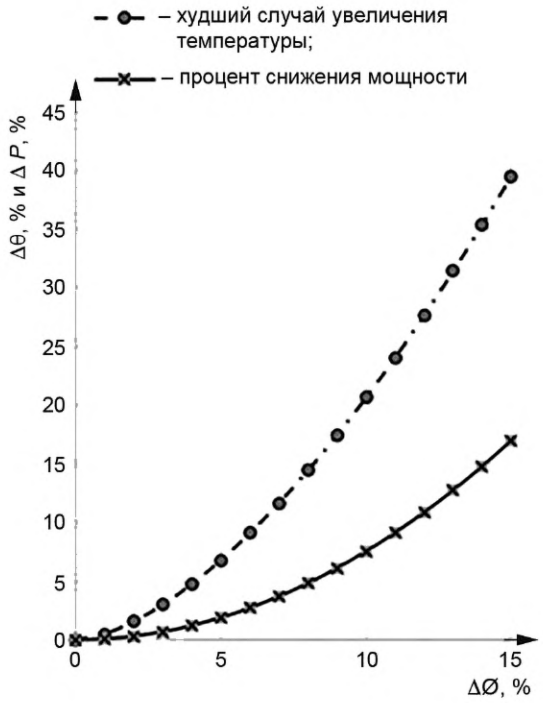


Рисунок 12 — Повышение температуры $\Delta\theta$ для худшего случая и рекомендуемое снижение выходной мощности ΔP двигателей как функция совместного изменения напряжения и частоты $|\Delta Ø|$ (ориентировочное руководство только для двигателей и генераторов)

7.5 Трехфазные машины в сетях с изолированной нейтралью

Трехфазные машины переменного тока должны быть пригодны для продолжительной работы с нейтралью, потенциал которой близок или равен потенциалу земли. Они должны быть также пригодны для работы в сетях с изолированной нейтралью при редко возникающих замыканиях на землю одной из фаз в течение непродолжительных периодов времени, достаточных для выявления места замыкания и устранения повреждения. Если предполагается непрерывная или продолжительная работа машины в этих условиях, то уровень ее изоляции должен быть пригодным для этих условий. Указанные условия должны быть согласованы.

Если машина не имеет одинаковых уровней изоляции линейных выводов и нейтрали, то это должно быть указано изготовителем.

Любые коммутационные процессы или кратковременные переключения в системе электропитания двигателя переменного тока, возникающие, например, во время управления напряжением в соответствии с национальными стандартами сетей электропитания, могут привести к возникновению очень высоких пиковых токов, подвергая повреждению статорную обмотку и возникновению очень высокого значения пикового крутящего момента (до 20 раз превышающего номинальный), подвергая повреждению механическую конструкцию, включая муфту, редуктор и ведомое оборудование. Поэтому коммутационные процессы или кратковременные переключения в системе электропитания разрешаются только в том случае, если это оговорено и принято производителями электрических машин и ведомого оборудования.

7.6 Уровни импульсных перенапряжений

Для машин переменного тока производитель должен указать предельное значение для амплитуды (пиковое значение) и крутизны фронта (градиента) импульсного напряжения при непрерывной работе, в случае требования заказчиком.

Для машин, используемых в системах электропривода (PDS — power drive systems), — см. также IEC TS 60034-25.

Для машин с указанным классом импульсной прочности изоляции IVIC, предназначенных для работы без частичных разрядов, — см. IEC 60034-18-41.

Для машин переменного тока с номинальным напряжением U_N > 1 кВ см. также IEC 60034-15.

Для путей утечки и воздушных зазоров для неизолированных токопроводящих материалов, таких как медь или алюминий, например в клеммной области, — см. IEC 60664-1. Эмалированные провода не считаются неизолированными токоведущими материалами. Для оценки систем изоляции обмоток (основная и функциональная изоляция) — см. 9.2.

8 Тепловые характеристики и испытания

8.1 Классы нагревостойкости машин

По нагреву машины классифицируют по IEC 60085 в соответствии с нагревостойкостью используемых в них изоляционных систем (материалов).

Изготовитель машины несет ответственность за интерпретацию результатов, полученных при испытании применяемой изоляционной системы на термическую стойкость в соответствии с IEC 60034-18.

Примечания

1 Классификация нагревостойкости новой изоляционной системы не должна быть непосредственно увязана с нагревостойкостью отдельных материалов, использованных в ней.

2 Допускается продолжать использовать существующие изоляционные системы в том случае, если их положительные свойства подтверждены удовлетворительным опытом эксплуатации.

8.2 Нормативная охлаждающая среда

Нормативная охлаждающая среда для методов охлаждения машины указана в таблице 5.

Таблица 5 — Нормативная охлаждающая среда (см. также таблицу 11)

Пункт	Первичная охлаждающая среда	Метод охлаждения	Вторичная охлаждающая среда	Номер таблицы	Нормируемый параметр нагревания, установленный в таблицах, указанных в графе 5	Нормативная охлаждающая среда
1	Воздух	Косвенный	Нет	8	Повышение температуры	Окружающий воздух
2	Воздух	Косвенный	Воздух	8		Нормируемая температура: 40 °C
3	Воздух	Косвенный	Вода	8		Охладитель на входе в машину или окружающая вода. Нормируемая температура охлаждающего газа на входе в машину 40 °C. Нормируемая температура окружающей воды 25 °C (см. примечание)
4	Водород	Косвенный	Вода	9		
5	Воздух	Непосредственный	Нет	13	Температура	Окружающий воздух
6	Воздух	Непосредственный	Воздух	13		Нормируемая температура: 40 °C
7	Воздух	Непосредственный	Вода	13		Газ на входе в машину или среду на входе в обмотки Нормируемая температура: 40 °C
8	Водород или жидкость	Непосредственный	Вода	13		

Машина с обмотками косвенного охлаждения и теплообменником с водяным охлаждением может быть рассчитана на использование в качестве нормируемого хладагента первичного или вторичного контура охлаждения (информацию на заводской табличке — см. также в разделе 10.2). Погружной агрегат с поверхностным охлаждением или агрегат с водяной рубашкой охлаждения должен быть рассчитан на использование вторичного хладагента в качестве нормируемого хладагента.

Если используется третичный охладитель, должно быть измерено превышение температуры над температурой первичного или вторичного охладителя в соответствии с таблицей 5.

Примечание — Машина может иметь комбинированную систему охлаждения, состоящую из сочетания систем, указанных в таблице 5, в этом случае для различных обмоток могут быть применены разные нормируемые охлаждающие среды.

8.3 Условия проведения испытаний на нагревание

8.3.1 Электропитание

При испытаниях на нагревание двигателей переменного тока коэффициент несинусоидальности питающего напряжения не должен превышать 0,015, напряжение обратной последовательности не должно превышать 0,5 % напряжения прямой последовательности, влияние составляющей напряжения нулевой последовательности должно быть исключено.

Во время тепловых испытаний, проводимых при полной нагрузке машин с номинальным напряжением до 1000 В, средняя частота питания должна быть в пределах ±0,1 % от номинальной частоты, среднее напряжение питания должно быть в пределах ±0,5 % от номинального напряжения, а средняя нагрузка не должна быть меньше номинальной мощности.

Примечание — Для машин с номинальным напряжением выше 1000 В тепловые испытания могут проводиться без ограничений по точности измерения напряжения и частоты из-за ограничений, связанных с оборудованием.

Вместо составляющей обратной последовательности напряжений по согласованию может быть измерена составляющая обратной последовательности токов, которая не должна превышать 2,5 % составляющих прямой последовательности.

8.3.2 Температура машины перед испытанием

Если температура обмотки определяется по возрастанию ее сопротивления постоянному току, начальная температура обмотки не должна отличаться от температуры охлаждающей среды более чем на 2 К.

Если машина должна быть испытана при работе в кратковременном режиме (типовой режим S2), ее начальная температура не должна отличаться от температуры охлаждающей среды более чем на 5 К.

8.3.3 Температура охлаждающей среды

Машина может быть испытана на нагревание практически при любой удобной температуре охлаждающей среды. При этом следует руководствоваться таблицей 12 для обмоток с косвенным охлаждением, а таблицей 15 — с непосредственным.

8.3.4 Измерение температуры охлаждающей среды во время испытания

8.3.4.1 Общие положения

За температуру охлаждающей среды во время испытания принимают среднеарифметическое значение по нескольким измерителям температуры, снятых через равные промежутки времени в течение последней четверти периода испытания в заданном режиме. Для уменьшения ошибок, обусловленных отставанием изменения температуры активных частей машины крупных машин от изменения температуры охлаждающей среды, должны быть приняты все возможные меры для уменьшения этих изменений.

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

Температура окружающего воздуха или газа должна быть измерена несколькими термометрами, расположенными в различных точках вокруг машины, на высоте, равной половине высоты машины, на расстоянии от 1 м до 2 м от машины. Каждый термометр должен быть защищен от возможности воздействия тепловой радиации и потоков воздуха.

8.3.4.3 Машины, охлаждаемые воздухом или газом от удаленного источника по вентиляционным трубопроводам, и машины с отдельно установленными охладителями

Температуру первичной охлаждающей среды следует измерять на входе в машину.

8.3.4.4 Закрытые машины со встроенными или установленными на корпусе охладителями

Температуру первичной охлаждающей среды следует измерять на входе в машину. Температуру вторичной охлаждающей среды следует измерять на входе в охладитель.

8.4 Превышение температуры части машины

Превышение температуры части машины $\Delta\theta$ определяют как разность между температурой этой части, измеренной методом, указанным в 8.5, и температурой охлаждающей среды, измеренной в соответствии с 8.3.4.

Для сравнения полученных значений с предельными значениями превышения температуры (см. таблицы 7 и 8) температуру, если возможно, следует измерять непосредственно перед отключением машины в конце теплового испытания, как указано в 8.7.

Если это невозможно, например когда используется непосредственное измерение сопротивления, следует руководствоваться методикой, изложенной в разделе 8.6.2.3.

Для машин, испытуемых в периодических режимах (типовые режимы S3—S8), за температуру в конце испытания принимают температуру в середине периода последней части рабочего цикла, имеющего наибольшую температуру (см. также 8.7.3).

8.5 Методы измерения температуры

8.5.1 Общие положения

Измерение температуры обмоток, других частей электрической машины и охлаждающих сред проводят следующими тремя методами:

- методом сопротивления;
- методом заложенных термопреобразователей (ETD — Embedded Temperature Detector);
- методом термометра.

Различные методы не должны использоваться для проверки друг друга. Для косвенного измерения см. IEC 60034-29—2013.

8.5.2 Метод сопротивления

Температура обмоток определяется по изменению сопротивления обмоток постоянному току.

8.5.3 Метод заложенных термопреобразователей (ETD)

Температуру определяют с помощью термопреобразователей (например, термометра сопротивления, термопары или полупроводниковых терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом), заложенных в машину в процессе ее производства в точки, недоступные после сборки машины.

8.5.4 Метод термометра

Температура определяется с помощью термометров, установленных в доступных местах собранной машины. Термин «термометр» включает в себя не только ртутные термометры, но также встроенные термопары и термометры сопротивления. В местах с сильным переменным или движущимся магнитным полем вместо ртутных термометров следует использовать спиртовые термометры.

8.6 Определение температуры обмотки

8.6.1 Применение метода

В целом, для измерения температур обмоток машины должен применяться метод сопротивления в соответствии с 8.5.2 (но также см. 8.6.2.3.3).

Для машин переменного тока мощностью не менее 5000 кВт (кВ · А) в качестве предпочтительного метода измерения температур обмоток и стали статора следует применять метод заложенных термопреобразователей.

Примечание — По согласованию между производителем и заказчиком метод сопротивления может также использоваться для машин с номинальной мощностью 5000 кВт (или кВ · А).

Для машин переменного тока мощностью менее 5000 кВт (кВ · А), но более 200 кВт (кВ · А) изготовитель может использовать по своему выбору либо метод сопротивления, либо метод заложенных термопреобразователей, если не согласовано иное.

Для машин переменного тока мощностью не более 200 кВт (кВ · А) изготовитель может использовать по своему выбору измерение температуры методом прямых измерений либо методом сопротивления с наложением, как описано в 8.6.2.1, если не оговорено иное (см. ниже).

В машинах номинальной мощностью не более 600 Вт (В · А), когда обмотки неоднородны или выполнение необходимых соединений связано с определенными трудностями, температуру допускается измерять посредством термометров. Должны применяться предельные значения превышения температуры в соответствии с таблицей 8, пункт 1d) для метода сопротивления.

Применение метода термометра признается целесообразным и в следующих случаях:

a) когда практически невозможно определить превышение температуры методом сопротивления, как, например, в случае катушек низкого сопротивления добавочных полюсов и компенсационных обмоток, а также, как правило, для других обмоток низкого сопротивления, особенно когда сопротивление контактов и соединений составляет значительную часть общего сопротивления;

b) когда вращающиеся или неподвижные обмотки однослойные;

c) при проведении контрольных испытаний на машинах крупносерийного производства.

Для статорных обмоток машин переменного тока с одним слоем секции в пазу применение метода заложенных термопреобразователей для проверки соответствия настоящему стандарту не допускается; в этом случае применяется метод сопротивления.

Для контроля температуры указанных обмоток во время эксплуатации заложенный на дно паза термопреобразователь малопригоден, поскольку он дает главным образом температуру сердечника. Показания термопреобразователя, помещенного между катушкой и пазовым клином, будут значительно ближе к действительной температуре обмотки, поэтому для контроля в условиях эксплуатации такая установка термопреобразователей является более предпочтительной. Так как измеренная температура может быть низкой, соотношение между ней и температурой, измеренной методом сопротивления, должно быть определено тепловыми испытаниями.

Для других однослойных обмоток и для лобовых частей обмотки метод заложенных термопреобразователей также не применяется.

Для обмоток якорей с коллекторами и для обмоток возбуждения применимы методы сопротивления и термометра. Метод сопротивления является предпочтительным, однако для неподвижных обмоток возбуждения машин постоянного тока, имеющих более одного слоя, может быть применен метод заложенных термопреобразователей.

8.6.2 Определение температуры методом сопротивления

8.6.2.1 Измерение

Следует использовать один из следующих методов:

- непосредственное измерение в начале и в конце проверки с использованием прибора, имеющего диапазон соответствующего класса;
- измерение постоянного тока/напряжения в обмотках постоянного тока путем измерения тока в обмотке и напряжения на обмотке с использованием приборов, имеющих диапазоны соответствующего класса;
- измерение постоянного тока/напряжения в обмотках переменного тока, измерения тока в обмотке и напряжения на обмотке с использованием приборов, имеющих диапазоны соответствующего класса;
- измерение постоянного тока/напряжения в обмотках переменного тока путем наложения небольшого постоянного тока в обмотку, когда она находится под напряжением (метод наложения).

8.6.2.2 Расчет

Превышение температуры $\theta_2 - \theta_a$ можно получить по формуле

$$\frac{\theta_2 + k}{\theta_1 + k} = \frac{R_2}{R_1},$$

где θ_1 — температура, °С, обмотки (холодная) в момент начала измерения сопротивления;

θ_2 — температура, °С, обмотки в конце испытания на нагревание;

θ_a — температура, °С, охлаждающей среды в конце испытания на нагревание;

R_1 — сопротивление обмотки при температуре θ_1 (холодная);

R_2 — сопротивление обмотки в конце испытания на нагревание;

k — обратная величина к температурному коэффициенту сопротивления материала проводника при 0 °С.

Для меди k = 235.

Для алюминия k = 225, если не указано иное.

Для практических целей следующая альтернативная формула может быть удобной:

$$\theta_2 - \theta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \cdot (k + \theta_1) + \theta_1 - \theta_a.$$

8.6.2.3 Учет продолжительности процедуры измерений

8.6.2.3.1 Общие положения

Измерение температуры в конце испытания на нагрев непосредственными измерениями методом сопротивления требует быстрого выполнения. Для этого необходимо тщательное их планирование и определение числа исполнителей.

8.6.2.3.2 Продолжительность процедуры измерений

Если первое измерение температуры проводится за интервал времени, представленный в таблице 6, результаты данного измерения признаются правомерными.

Таблица 6 — Продолжительность измерения

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

8.6.2.3.3 Увеличение продолжительности измерения

Если не удается зарегистрировать результат измерения сопротивления за время, указанное в таблице 6, то оно должно быть выполнено как можно быстрее, но за время, не превышающее указанное в таблице 6 в два раза, а дополнительная регистрация должна быть осуществлена примерно за 1 мин, пока показания не станут заметно отличаться от максимальной величины. По данным измерениям строится график в функции времени и экстраполируется на требуемом в соответствии с таблицей 6 интервале. Рекомендуется использовать полулогарифмическую шкалу для оси температуры. Достигнутая таким образом температура является температурой при отключенном состоянии. Если адекватные измерения покажут увеличение температуры после отключения, необходимо использовать наивысшее значение температуры.

Если измерение сопротивления не может быть выполнено до тех пор, пока не пройдет двойной интервал времени, указанный в таблице 6, этот метод коррекции должен использоваться только по согласованию.

8.6.2.3.4 Однослойные обмотки в пазу

Для машин с однослойными обмотками в пазу прямые измерения методом сопротивления могут проводиться, если интервал времени после отключения до остановки не превышает указанного в таблице 6. Если машине требуется более 90 с, чтобы остановиться после выключения питания, метод наложения (см. 8.6.2.1) может использоваться, если это предварительно согласовано.

8.6.3 Определение температуры методом заложенных термопреобразователей

8.6.3.1 Общие положения

Термопреобразователи должны быть по возможности равномерно по фазам распределены по обмотке и число их должно быть не менее 6.

Тщательно соблюдая меры безопасности, термопреобразователи следует размещать в точках, где предполагается наиболее высокая температура, таким образом, чтобы они были надежно защищены от контакта с первичной охлаждающей средой.

При определении температуры с помощью термопреобразователя оценку нагревания следует проводить по термопреобразователю, указывающему наибольшую температуру.

Заложенные термопреобразователи и их электрические цепи могут повреждаться и давать ошибочную информацию. Поэтому, если один или более термопреобразователей дают явно неверные показания, после соответствующих проверок они должны быть исключены из рассмотрения при оценке нагрева.

8.6.3.2 Обмотки двухслойные и с большим числом слоев

Термопреобразователи должны быть помещены между изолированными слоями внутри паза в местах, где ожидается наиболее высокая температура.

8.6.3.3 Однослойная обмотка

Термопреобразователи должны быть помещены между пазовым клином и внешней частью изоляции обмотки в местах, где ожидается наиболее высокая температура. Чувствительная часть каждого датчика должна иметь тесный контакт с обмоткой и быть надежно защищена от хладагента (см. также 8.6.1).

8.6.3.4 Лобовые части обмоток

Термопреобразователи должны быть помещены между двумя сторонами смежных секций внутри наружного ряда лобовых частей обмоток в местах, где ожидается наиболее высокая температура. Термопреобразователь должен находиться в непосредственном соприкосновении с поверхностью секции и быть надежно защищен от воздействия охлаждающей среды (см. также 8.6.1).

При размещении датчика температуры в лобовых частях обмотки высоковольтных машин необходимо следить за тем, чтобы изоляция не подвергалась риску, и чтобы разность потенциалов вдоль выступа обмоток не вызывала проблем. Кроме того, необходимо иметь в виду, что заземляемые элементы измерительной системы имеют емкостную связь с высоковольтной системой. Отключение заземления измерительного контура в этом случае немедленно приведет к перенапряжению в измерительной системе и возможному повреждению измерительного оборудования.

Примечание — Если обмотка статора представляет собой стержень с непосредственным жидкостным охлаждением, датчик температуры, установленный в области сопел каждого стержня, контролирующий температуру воды на выходе, может указывать на блокировку канала охлаждения жилы проводника.

8.6.4 Определение температуры методом термометра

Тщательно соблюдая меры безопасности, термометры следует разместить в точке или в точках, где предполагается наиболее высокая температура (например, на участках лобовых частей обмотки, близких к сердечнику), таким образом, чтобы они были надежно защищены от влияния первичной охлаждающей среды и имели хороший тепловой контакт с обмоткой или другой частью машины.

За температуру обмотки или другой части машины принимается наибольшее значение из показаний термометра.

8.7 Продолжительность испытаний на нагревание

8.7.1 Номинальный продолжительный режим

Испытание на нагревание при продолжительном режиме следует продолжать до достижения практически установившегося теплового состояния.

8.7.2 Номинальный кратковременный режим

Длительность испытания должна соответствовать времени, указанному в номинальных данных типового режима.

8.7.3 Номинальный периодический режим

Обычно номинальная величина эквивалентной нагрузки, указанная изготовителем (см. 5.2.6), должна применяться до тех пор, пока не будет достигнуто установившееся тепловое состояние. Если проверка на фактическую нагрузку согласована, указанный цикл нагрузки должен применяться и продолжаться до тех пор, пока не будут получены практически идентичные температурные циклы. Критерием для этого должно быть то, что прямая линия между соответствующими точками последовательных рабочих циклов на графике температуры имеет градиент температуры менее 2 К/ч. При необходимости измерения должны проводиться с разумной периодичностью в течение определенного периода времени (см. 3.25).

8.7.4 Номинальный непериодический режим и режим с дискретными постоянными нагрузками

Номинальное значение эквивалентной нагрузки, указанной производителем (см. 5.2.6), должно повторяться до достижения практически установившегося теплового состояния.

8.8 Определение тепловой эквивалентной постоянной времени для машин режима работы S9

Эквивалентная тепловая постоянная времени при той же вентиляции, что и при нормальных условиях работы, предназначенная для приближенного определения изменения температуры, может быть получена с помощью кривой охлаждения, построенной тем же способом, который описан в 8.6.2.3. Постоянная времени равна 1,44-кратному (или 1/ln2) промежутку времени между моментом отключения двигателя и моментом достижения температуры, равной половине превышения температуры машины при полной нагрузке.

8.9 Измерение температуры подшипника

Температура подшипника определяется методом термометра или методом заложенных термопреобразователей.

Точка для измерения температуры должна быть расположена как можно ближе к одному из двух мест, указанных в таблице 7.

Таблица 7 — Точки измерения

Тип подшипника	Точка измерения	Местоположение точки измерения
Роликовый или шариковый	A	В корпусе подшипника желательно контактировать с наружным кольцом подшипника, но не более 10 мм[a] от него[b].
	B	Наружная поверхность корпуса подшипника как можно ближе к наружному кольцу подшипника
Подшипники скольжения или самоустанавливающиеся сегменты	A	В зоне давления вкладыша подшипника[c] и не более 10 мм[a] от масляной пленки зазора[b].
	B	В других местах вкладыша подшипника

[a] Расстояние измеряется до ближайшей точки ETD или колбы термометра.

[b] В случае с внешним ротором точка A будет находиться в неподвижной части на расстоянии не более 10 мм от внутреннего кольца, а точка B на наружной поверхности неподвижной части будет как можно ближе к внутреннему кольцу.

[c] Корпус подшипника — это деталь, поддерживающая материал подшипника. Зона давления — это часть окружности, которая поддерживает комбинацию веса ротора и радиальных нагрузок.

Тепловое сопротивление между термопреобразователем и деталью, температура которой определяется, должно быть уменьшено; например, воздушные зазоры должны быть заполнены термопроводящей пастой.

Примечание — Между точками измерения A и B, как и между этими точками и наиболее нагретой точкой подшипника, существует разность температур, которая зависит, среди прочего, от размеров подшипника. Для подшипников скольжения с запрессованными втулками, а также для шариковых и роликовых подшипников с внутренним диаметром до 150 мм разность температур, возникающую между точками A и B, можно считать незначительной и не принимать во внимание. В случае подшипников большего размера разница температур между точками измерения A и B составляет примерно 15 K.

8.10 Предельные значения температуры и превышения температуры

8.10.1 Общие положения

Предельные значения допускаемых температур и превышений температур установлены для машины, предназначенной для продолжительного режима (S1), при работе ее на месте установки в условиях эксплуатации, соответствующих разделу 6.

Если условия эксплуатации машины на месте установки отличаются от условий, указанных в разделе 6, а также в случае отличия условий проведения испытаний от условий эксплуатации, предельные значения допускаемых превышений температуры и температуры должны быть откорректированы в соответствии с приведенными ниже правилами.

Предельные значения соответствуют определенным условиям охлаждения, указанным в таблице 5, и определенной чистоте охлаждающего водорода.

8.10.2 Обмотки с косвенным охлаждением

Превышения температуры при оговоренных выше условиях (см. 8.3) не должны превышать значений, приведенных в таблице 8 (для воздушного охлаждения) или таблице 9 (для водородного охлаждения).

Примечание — Разница температур, измеренная методом ETD и методом сопротивления, может быть значительно выше или ниже температурных пределов, указанных в таблице 8 или таблице 9, в зависимости от конструкции машины и системы охлаждения. В данной статье не проводится сравнение метода ETD и метода сопротивления друг с другом.

Таблица 8 — Предельно допустимые превышения температуры, К, машин с косвенным воздушным охлаждением обмоток

Класс нагревостойкости		130 (B)			155 (F)			180 (H)			200 (N)		
Метод измерения Th — термометр, R — сопротивление, ETD — встроенный датчик температуры		Th K	R K	ETD K	Th K	R K	ETD K	Th K	R K	ETD K	Th K	R K	ETD K
Пункт	Деталь машины												
1a)	Обмотки переменного тока машин мощностью 5000 кВт (кВ · А) или более	—	80	85[a]	—	105	110[a]	—	125	130[a]	—	145	150[a]
1b)	Обмотки переменного тока машин мощностью более 200 кВт (кВ · А), но менее 5000 кВт (кВ · А)	—	80	90[a]	—	105	115[a]	—	125	140[a]	—	145	160[a]
1c)	Обмотки переменного тока для машин с выходной мощностью 200 кВт (кВ · А) или менее, кроме тех, которые указаны в пунктах 1d) или 1e)[b]	—	80	—	—	105	—	—	125	—	—	145	—
1d)	Обмотки переменного тока машин с номинальной мощностью менее 600 Вт (В · А)[b]	—	85	—	—	110	—	—	130	—	—	150	—
1e)	Обмотки переменного тока, которые охлаждаются без вентилятора (IC 40) и/или с герметизированными обмотками [b]	—	85	—	—	110	—	—	130	—	—	150	—
2	Обмотки якорей с коллекторами	70	80	—	85	105	—	105	125	—	125	145	—
3	Обмотки машины переменного и постоянного тока помимо указанных в пункте 4	70	80	—	85	105	—	105	125	—	125	145	—
4a)	Обмотки возбуждения синхронных машин с цилиндрическими роторами, имеющие обмотку возбуждения постоянного тока, встроенную в пазы, кроме асинхронных двигателей с фазным ротором	—	90	—	—	115	—	—	135	—	—	155	—
4b)	Изолированные стационарные обмотки возбуждения машин постоянного тока, имеющие более одного слоя	70	80	90	85	105	115	105	125	140	125	145	160
4c)	Низкоомные обмотки возбуждения машин постоянного тока, имеющие более одного слоя, и компенсационные обмотки машин постоянного тока	80	80	—	100	105	—	125	125	—	145	145	—
4d)	Однослойные обмотки машины переменного и постоянного тока с оголенными или лакированными металлическими поверхностями [c]	90	90	—	110	115	—	135	135	—	155	155	—

[a] Регулировки для обмоток переменного тока высокого напряжения — см. пункт 4 таблицы 10.

[b] При применении метода наложения к обмоткам машин мощностью 200 кВт (кВ · А) или менее с классами нагревостойкости 130 (B) и 155 (F) предельные значения превышения температуры, указанные для метода сопротивления, могут быть превышены на 5 К.

[c] Также включает в себя многослойные обмотки, при условии, что нижние слои находятся в контакте с циркулирующей первичной охлаждающей средой.

Для других условий эксплуатации на месте установки для типовых режимов, отличных от S1, и для машин с номинальным напряжением свыше 12 кВ предельные допускаемые значения должны быть скорректированы согласно таблице 10 (см. также таблицу 11 для предельных значений хладагента, принятых в таблице 10).

В случае, когда измерение температуры проводят методом термометра в соответствии с 8.6.1, предельное превышение температуры должно соответствовать таблице 8.

Если для обмоток, косвенно охлаждаемых воздухом, условия на месте испытания отличаются от таковых на месте установки, предельные значения превышений температур для места испытаний должны быть скорректированы в соответствии с таблицей 12.

Если корректировка предельных значений в соответствии с таблицей 12 приводит к тому, что допускаемые температуры, полученные для места испытаний, оцениваются производителем как чрезмерные, то процедура испытаний и предельные значения должны быть согласованы с заказчиком.

Если необходимо измерить повышение температуры выше температуры воды, поступающей в охладитель, следует строго учитывать влияние высоты на разницу температур между воздухом и водой. Однако для большинства конструкций охладителей влияние будет небольшим, разница будет увеличиваться с увеличением высоты примерно на 2 К на 1000 м. Если необходима корректировка, она должна быть согласована.

Для машин с косвенным охлаждением обмотки статора водородом корректировка предельных значений температур для места испытаний не приведена, так как маловероятно, что такие машины могут быть испытаны при номинальной нагрузке где-либо в другом месте, кроме места установки.

Таблица 9 — Предельно допустимые превышения температуры, К, машин с косвенным водородным охлаждением обмоток

Класс нагревостойкости		130 (B)		155 (F)	
Метод измерения ETD — встроенный датчик температуры		Сопротивление K	ETD K	Сопротивление K	ETD K
Пункт					
1	Обмотки машин переменного тока с выходной мощностью 5000 кВт (кВ · А) или более или с длиной сердечника 1 м и более Абсолютное давление водорода[b]				
	≤150 кПа (1,5 бар)	—	85[a]	—	105[a]
	>150 кПа ≤200 кПа (2,0 бар)	—	80[a]	—	100[a]
	>200 кПа ≤300 кПа (3,0 бар)	—	78[a]	—	98[a]
	>300 кПа ≤400 кПа (4,0 бар)	—	73[a]	—	93[a]
	>400 кПа	—	70[a]	—	90[a]
2a	Обмотки переменного тока машин мощностью менее 5000 кВт (кВ · А) или длина сердечника менее 1 м	80	85[a]	100	110[a]
2b	Обмотки возбуждения постоянного тока машин переменного и постоянного тока, кроме указанных в пунктах 3 и 4	80	—	105	—
3	Обмотки возбуждения постоянного тока машин с цилиндрическими роторами	85	—	105	—
4a	Низкоомные обмотки возбуждения, имеющие более одного слоя и компенсационные обмотки	80	—	100	—
4b	Однослойные обмотки с открытыми голыми или лакированными металлическими поверхностями[c]	90	—	110	—

[a] Поправки для обмоток переменного тока высокого напряжения — см. пункт 4 таблицы 10.

[b] Это единственный пункт, где допустимое превышение температуры зависит от давления водорода.

[c] Также включает многослойные обмотки возбуждения при условии, что каждый нижний слой контактирует с циркулирующей первичной охлаждающей средой.

Таблица 10 — Поправки к предельно допустимым превышениям температуры машин с косвенным охлаждением обмоток, учитывающие отличия от номинальных условий эксплуатации и режимов работы на месте установки

Пункт	Условие эксплуатации на месте установки или номинальные данные	Поправка к предельным превышениям температуры $\Delta\theta$ в таблицах 8 и 9	Значение
1a	Максимальная температура окружающего воздуха или охлаждающего газа на входе в машину θ_c для высот до 1000 м. Если разница между тепловым классом и наблюдаемым пределом температуры, состоящая из суммы контрольной температуры на входе холодной охлаждающей среды 40 °С и предела повышения температуры в соответствии с таблицами 8 и 9 меньше или равна до 5 К, то для большей высоты заменяют 40 °С на значение, указанное в таблице 11	0 °C ≤ θ_c ≤ 40 °C	Увеличивается на величину, при которой температура охлаждающей среды составляет менее 40 °С
1b	Максимальная температура окружающего воздуха или охлаждающего газа на входе в машину θ_c для высот до 1000 м. Если разница между тепловым классом и наблюдаемым пределом температуры, состоящей из суммы нормируемой температуры холодной охлаждающей среды на входе 40 °С и предела повышения температуры в соответствии с таблицами 8 и 9, является больше, чем 5 К, то для большей высоты заменяют 40 °С на значение, указанное в таблице 11	0 °C ≤ θ_c ≤ 40 °C	Предельное повышение температуры $\Delta\theta$ для температуры холодного газа θ_c должно составлять $\Delta\theta = \Delta\theta_{ref} \frac{\theta_{ThCl} - \theta_C}{\theta_{ThCl} - \theta_{C,ref}}$, где $\Delta\theta_{ref}$ — предел повышения температуры в соответствии с таблицей 8 или таблицей 9 при температуре 40 °С; θ_{ThCl} — температура теплового класса (например, 130 °С или 155 °С); $\theta_{C,ref}$ — эталонная температура холодной охлаждающей среды (40 °С)
1c		40 °C ≤ θ_c ≤ 60 °C	Уменьшается на величину, на которую температура охлаждающей среды превышает 40 °С
1d		Θ_c < 0 °C или Θ_c > 60 °C	По соглашению
2	Максимальная температура воды на входе в теплообменники с водяным охлаждением или максимальная температура окружающей воды для погружных машин с поверхностным охлаждением и машин с водяным охлаждением θ_w	5 °C ≤ θ_W ≤ 25 °C	Увеличение на 15 К и на разницу между 25 °С и θw
		θ_W > 25 °C	Увеличение на 15 К и уменьшение на разницу между θ_w и 25 °С
3a	Высота над уровнем моря H — общее правило	1000 м < H ≤ 4000 м и максимальная температура окружающего воздуха не указана	Нет поправки. Предполагается, что пониженное охлаждение, вызванное высотой, компенсируется снижением максимальной температуры окружающей среды ниже 40 °С, и поэтому общая температура не будет превышать 40 °С, плюс температура в таблице 8 и таблице 9.
		H > 4000 м	По соглашению

Окончание таблицы 10

Пункт	Условие эксплуатации на месте установки или номинальные данные	Поправка к предельным превышениям температуры $\Delta\theta$ в таблицах 8 и 9	Значение
3b	Высота H — высота генератора электростанции	Согласно спецификации заказчика	Мощность генераторов электростанции должна регулироваться и зависит от высоты (давления воздуха). Для генераторов электростанций регулировка мощности не требуется, если абсолютное давление теплоносителя поддерживается постоянным независимо от высоты
4	Номинальное напряжение обмотки статора U_N	12 кВ < U_N ≤ 24 кВ	$\Delta\theta$ для встроенных датчиков температуры (ETD) должно быть уменьшено на 1 К на каждый 1 кВ (или его часть) с 12 кВ до 24 кВ включительно.
		U_N > 24 кВ	По соглашению
5[b]	Номинальное значение для кратковременного режима работы (S2) с номинальной мощностью менее 5000 кВт (кВ · А)		Увеличение на 10 К
6[b]	Номинальные(ое) значения(е) для непериодического режима работы (S9)		$\Delta\theta$ может быть превышен в течение коротких периодов во время работы машины
7[b]	Номинальные(ое) значения(е) для режима работы с дискретными нагрузками (S10)		$\Delta\theta$ может быть превышен на дискретные периоды во время работы машины

[a] Предполагая, что снижение температуры окружающей среды составляет 1 % от предельных повышений на каждые 100 м высоты выше 1000 м, максимальная температура окружающего воздуха на рабочей площадке может быть такой, как показано в таблице 11.

[b] Только для обмоток с воздушным охлаждением.

Таблица 11 — Расчетные значения максимальной температуры окружающей среды

Высота над уровнем моря, м	Класс нагревостойкости изоляции			
	130 (B)	155 (F)	180 (H)	200 (N)
	Температура, °C			
1000	40	40	40	40
2000	32	30	28	26
3000	24	19	15	12
4000	16	9	3	0

8.10.3 Обмотки с непосредственным охлаждением

Температура обмоток с непосредственным охлаждением при оговоренных выше условиях (см. п. 8.3) не должна превышать значений, приведенных в таблице 13.

Для других условий эксплуатации на месте установки предельные температуры должны быть скорректированы согласно таблице 14.

Если условия на месте испытаний отличаются от таковых на месте установки, предельные значения температур должны быть скорректированы согласно таблице 15.

Если в результате корректировки предельных значений температур по таблице 15 полученные значения температур для места испытаний производитель считает чрезмерными, процедура испытаний и предельные значения температур должны быть согласованы с заказчиком.

8.10.4 Корректировки для учета чистоты водорода при испытании

Для обмоток, непосредственно или косвенно охлаждаемых водородом, не допускается корректировка пределов превышения температуры или общей температуры, если доля водорода в охлаждающей жидкости составляет от 95 % до 100 %.

8.10.5 Постоянно короткозамкнутые обмотки, магнитопроводы и все конструктивные компоненты (кроме подшипников), контактирующие или нет с изоляцией

Повышение температуры или температура не должны наносить ущерб изоляции этой части или любой другой части, прилегающей к ней.

8.10.6 Открытые или закрытые коллекторы и контактные кольца, щетки и щеткодержатели

Превышение температуры или температура любого коллектора, контактного кольца, щетки или щеткодержателя не должны быть опасными для изоляции этих или любых других сопряженных с ними деталей.

Превышение температуры или температура коллектора или контактного кольца не должны превышать значений, при которых комбинация сорта щеток и материала коллектора или контактного кольца обеспечивает нормальное прохождение тока в полном рабочем диапазоне.

Таблица 12 — Пределы превышения температуры на испытательном стенде $\Delta\theta_T$ для обмоток, косвенно охлаждаемых воздухом, с учетом условий эксплуатации на месте установки

Пункт	Условия испытаний		Скорректированный предел превышения температуры для места испытаний $\Delta\theta_T$
1	Разность температуры нормируемой охлаждающей среды на испытательном стенде θc_T и на рабочем месте θ_c	Абсолютное значение $(\theta_c - \theta_{ст}) \le 30$ K	$\theta_T = \Delta\theta$
		Абсолютное значение $(\theta_c - \theta_{ст}) > 30$ K	По соглашению
2	Разность высот испытательного стенда H_T и рабочего места H	1000 м < H ≤ 4000 м H_T ≤ 1000 м	$\Delta\theta_T = \Delta\theta\left(1 - \frac{H - 1\,000\text{ м}}{10\,000\text{ м}}\right)$
		H ≤ 1000 м 1000 м < H_T ≤ 4000 м	$\Delta\theta_T = \Delta\theta\left(1 + \frac{H_T - 1\,000\text{ м}}{10\,000\text{ м}}\right)$
		1000 м < H ≤ 4000 м 1000 м < H_T ≤ 4000 м	$\Delta\theta_T = \Delta\theta\left(1 + \frac{H_T - H}{10\,000\text{ м}}\right)$
		H > 4000 м или H_T > 4000 м	По соглашению
Примечание — $\Delta\theta$ приведено в таблице 8 и может быть при необходимости скорректировано в соответствии с таблицей 10			

Таблица 13 — Предельно допустимые температуры машин с непосредственным охлаждением и их хладагентов

Класс нагревостойкости		130 (B)			155 (F)		
Метод измерения		Термометр, °C	Сопротивление, °C	ETD, °C	Термометр, °C	Сопротивление, °C	ETD, °C
Пункт	Детали машины						
1	Охладитель на выходе машин с непосредственным охлаждением обмотки переменного тока. Эти температуры являются предпочтительными по сравнению со значениями, указанными в пункте 2, в качестве основы для оценки						
1a)	газ (воздух, водород, гелий и т. д.)	110	—	—	130	—	—
1b)	жидкость (вода, масло и т. д.)	90	—	—	90	—	—

Окончание таблицы 13

Класс нагревостойкости		130 (B)			155 (F)		
Метод измерения		Термометр, °C	Сопротивление, °C	ETD, °C	Термометр, °C	Сопротивление, °C	ETD, °C
Пункт	Детали машины						
2 2a) 2b)	Обмотки переменного тока охлаждение газом жидкостное охлаждение	—	—	120[a]	—	—	145[a]
3 3a)	Обмотки возбуждения машин турбинного типа охлажденный газом, покидающим ротор через следующее количество выходных зон [b]						
	1 и 2	—	100	—	—	115	—
	3 и 4	—	105	—	—	120	—
	5 и 6	—	110	—	—	125	—
	7—14	—	115	—	—	130	—
	более 14	—	120	—	—	135	—
3b)	с жидкостным охлаждением	Соблюдение максимальной температуры охлаждающей среды, указанной в пункте 1b), гарантирует, что температура наиболее горячей точки обмотки не будет превышать допустимых значений					
4	Обмотки возбуждения машин переменного и постоянного тока с возбуждением постоянным током за исключением указанных в пункте 3						
4a)	с газовым охлаждением	—	130	—	—	150	—
4b)	с жидкостным охлаждением	Соблюдение максимальной температуры охлаждающей среды, указанной в пункте 1b), гарантирует, что температура наиболее горячей точки обмотки не будет превышать допустимых значений					

[a] Поправки в случае обмоток переменного тока высокого напряжения к этим изделиям не применяются, см. табл. 14, п. 2.

[b] Вентиляция ротора классифицируется по количеству радиальных выходных зон на общей длине ротора. Специальные выпускные зоны для охлаждающей жидкости в лобовых частях обмоток предусмотрены по одному выпуску для каждого конца. Общую зону выхода двух аксиально противоположных потоков следует считать двумя зонами.

Таблица 14 — Поправки к предельно допустимым температурам машин с непосредственным воздушным или водородным охлаждением на месте установки, учитывающие условия эксплуатации, отличные от номинальных

Пункт	Условие эксплуатации или номинальное значение		Поправка к предельной допустимой температуре в таблице 13
1	Температура θ_c нормативной охлаждающей среды	0 °C ≤ θ_c ≤ 40 °C	Сокращение на величину разницы между 40 °C и θ_c. Однако, по соглашению, может быть применено меньшее уменьшение, при условии, что θ_c < 10 °C уменьшение производится на величину по меньшей мере, равную разности между 10 °C и θ_c.
		40 °C < θ_c ≤ 60 °C	Не корректируется
		θ_c < 0 °C или θ_c > 60 °C	По соглашению
2	Номинальное напряжение обмотки статора U_N	U_N > 11 кВ	Не корректируется. Тепловой поток в основном направлен к теплоносителю внутри проводников, а не через основную изоляцию обмотки

Таблица 15 — Установленные предельные значения температуры на месте испытаний θ_T для обмоток, непосредственно охлаждаемых воздухом, с учетом условий эксплуатации на месте испытаний

Пункт	Условия испытания		Скорректированный предел температуры на месте испытаний θ_T
1	Разница между температурами нормативной охлаждающей среды на испытательном стенде θ_{cT} и на месте установки θ_c	Абсолютное значение $(\theta_c - \theta_{cT}) \le 30$ K	$\theta_T = \theta$
		Абсолютное значение $(\theta_c - \theta_{cT}) > 30$ K	По соглашению
2	Разница между высотами над уровнем моря испытательного стенда H_T и места установки H	1000 м < H < 4000 м $H_T \le 1000$ м	$\theta_T = (\theta - \theta_c)\left(1 - \frac{H - 1\,000\text{ м}}{10\,000\text{ м}}\right) + \theta_{cT}$
		$H \le 1000$ м 1000 м < H_T < 4000 м	$\theta_T = (\theta - \theta_c)\left(1 - \frac{H_T - 1\,000\text{ м}}{10\,000\text{ м}}\right) + \theta_{cT}$
		1000 м < $H \le$ 4000 м 1000 м < $H_T \le$ 4000 м	$\theta_T = (\theta - \theta_c)\left(1 - \frac{H_T - H}{10\,000\text{ м}}\right) + \theta_{cT}$
		H > 4000 м или H_T > 4000 м	По соглашению
Примечание — θ, приведенное в таблице 13, при необходимости может быть скорректировано в соответствии с таблицей 14.			

9 Другие характеристики и испытания

9.1 Контрольные испытания

Контрольные испытания проводят, как правило, на предприятии-изготовителе на машинах, собранных производителем. При этом машина может быть собрана не полностью, не иметь ряда частей, которые не могут существенно повлиять на результаты испытания. В данных испытаниях машины не обязательно должны быть спарены, что не относится к испытаниям отключенных от сети синхронных машин.

В таблице 16 приведен минимальный объем контрольных испытаний для машин мощностью до 20 МВт (МВ · А) включительно. Приведенный перечень испытаний для машин мощностью свыше 200 кВт может быть дополнен другими контрольными испытаниями.

Термин «синхронные машины» включает в себя и машины с возбуждением от постоянных магнитов.

Для машин постоянного тока в зависимости от их размеров и конструкции испытания по проверке коммутации под нагрузкой допускается проводить в рамках контрольных испытаний.

Таблица 16 — Минимальный объем контрольных испытаний

№	Вид испытания	Асинхронные машины (включая синхронизированные асинхронные двигатели)[a]	Синхронные машины с электрическим возбуждением	Синхронные реактивные машины и синхронные машины с возбуждением постоянными магнитами	Машины постоянного тока с независимым и последовательным возбуждением
1	Измерение сопротивления обмоток постоянному току в холодном состоянии	Да	Да	Да	Да
2	Определение тока и потерь холостого хода[d]	Да	—	Да	—
3[a]	Определение потерь холостого хода при коэффициенте мощности, равном 1 [c]	—	Да	—	—
3[b]	Определение тока возбуждения при номинальном напряжении и холостом ходе [c]	—	Да	—	—

Окончание таблицы 16

№	Вид испытания	Асинхронные машины (включая синхронизированные асинхронные двигатели)[a]	Синхронные машины с электрическим возбуждением	Синхронные реактивные машины и синхронные машины с возбуждением постоянными магнитами	Машины постоянного тока с независимым и последовательным возбуждением
4	Определение тока возбуждения при номинальной частоте вращения и номинальном напряжении якоря	—	—	—	Да
5	Определение индуктированного напряжения вторичной цепи при неподвижном роторе асинхронных двигателей с фазным ротором[b]	Да	—	—	—
6	Определение направления вращения или определение чередования фаз	Да	Да	Да	Да
7	Испытание изоляции повышенным напряжением в соответствии с 9.2	Да	Да	Да	Да

[a] IEC 60050-411:1996, 411-33-04.
[b] В целях безопасности это испытание может проводиться при пониженном напряжении.
[c] Требуется только одно из испытаний 3[a] или 3[b].
[d] Для измерения потерь без нагрузки стабилизация температуры не требуется.

9.2 Испытание изоляции обмоток повышенным напряжением

Нормированное испытательное напряжение следует прикладывать между испытуемой обмоткой и корпусом машины; при этом сердечник и другие обмотки, к которым в это время не приложено напряжение, должны быть присоединены к корпусу. Испытания проводят на предприятиях-изготовителях на новой полностью собранной машине со всеми ее частями в условиях, приближенных к нормальным условиям эксплуатации, или после монтажа машины на месте установки. Если проводят испытание на нагревание, то испытание для проверки изоляции повышенным напряжением проводят немедленно после испытания на нагревание.

Для оборудования, изготовленного для хранения на складе, испытание повышенным напряжением, проведенное для приемки по завершении производства, остается действительным и не должно повторяться при условии, что испытательное напряжение равно или превышает испытательное напряжение, указанное в таблице 17, на основе номинального напряжения, указанного на паспортной табличке.

Примечание 1 — Для высоковольтных машин можно использовать дополнительные методы, описанные в частях IEC 60034-27, для подтверждения пригодности системы изоляции обмотки машины.

За исключением случаев, указанных ниже, частота испытательного напряжения должна быть рабочей частотой, установленной изготовителем, а форма напряжения должна быть как можно ближе к синусоидальной. Значение полного испытательного напряжения должно соответствовать таблице 17. Для машин с номинальным напряжением 6 кВ и выше при отсутствии оборудования, необходимого для проведения испытаний переменным напряжением промышленной частоты на месте установки машины, эти испытания по согласованию с заказчиком могут быть заменены испытанием изоляции выпрямленным напряжением, значение которого должно в 1,7 раза превышать действующее значение переменного напряжения, указанного в таблице 17.

Примечание 2 — При этом нужно учитывать, что при испытаниях выпрямленным напряжением распределение потенциалов в изоляции лобовых частей обмотки и механизм старения изоляции отличаются от имеющих место при испытаниях переменным напряжением.

В случае многофазных машин с номинальным напряжением выше 1 кВ, имеющих индивидуальный доступ к обоим концам каждой фазы, испытательное напряжение должно быть приложено между каждой фазой и корпусом, при этом сердечник, а также другие фазы и обмотки, не подвергающиеся испытанию, подключаются к корпусу. Испытания следует начинать с напряжения, не превышающего половины испытательного напряжения. Затем напряжение должно повышаться до полного значения плавно

или ступенями, не превышающими 5 % его полного значения, при этом время повышения напряжения от половины до полного значения не должно быть менее 10 с. Изоляция обмоток должна выдерживать полное испытательное напряжение без повреждений в течение 1 мин в соответствии с таблицей 17. Оборудование для испытания напряжением должно быть способно поддерживать испытательное напряжение в течение всего испытания в пределах ±5 % от указанного значения. В течение этого периода не должно произойти пробоев изоляции в соответствии с IEC 60060-1.

При плановых испытаниях серийно выпускаемых машин мощностью до 200 кВт (или кВ · А) и номинальным напряжением U_N не более 1 кВ допускается заменить испытание продолжительностью 1 мин испытанием продолжительностью 1 с напряжением, равным 120 % испытательного напряжения, указанного в таблице 17. Для машин очень малых размеров мощностью до 1 кВт (или кВ · А) с назначенным классом импульсной прочности изоляции IVIC C или D (пункт 2b в таблице 17), значение испытательного напряжения продолжительностью 1 с, рассчитанное как 120 % значения по таблице 17 и с учетом повышающего коэффициента по таблице 18, может оказаться очень большим. В этом случае для испытания в течение 1 с можно использовать значение испытательного напряжения, рассчитанного по таблице 17 без каких-либо повышающих коэффициентов.

Обмотки, выдержавшие испытание полным повышенным напряжением при приемке, повторному испытанию не подвергают. Однако если по требованию заказчика проводят повторные испытания, то изоляцию обмотки после дополнительной сушки (если это необходимо) испытывают напряжением, равным 80 % указанного в таблице 17.

Для определения испытательного напряжения по таблице 17 для двигателей постоянного тока, питаемых от статических преобразователей, следует использовать постоянное напряжение двигателя или действующее междуфазное значение номинального переменного напряжения на входных клеммах статического преобразователя в зависимости от того, что больше.

Изменение напряжения в соответствии с 7.3 не должно учитываться при определении испытательного напряжения.

Для машин переменного тока с регулируемой частотой вращения, которые во время работы подвергаются действию импульсного напряжения и которым присвоен класс импульсной прочности изоляции (IVIC) в соответствии с IEC 60034-18-41 или IEC 60034-18-42, испытательное напряжение должно выбираться в соответствии с классом импульсной прочности изоляции IVIC, как определено в IEC 60034-18-41 или IEC 60034-18-42 соответственно (см. пункт 2b в таблице 17).

Полностью перемотанные обмотки должны проходить проверку при полном испытательном напряжении для новых машин.

Если пользователь и подрядчик по ремонту согласились провести проверки на выдерживаемое напряжение в случаях, когда обмотки были частично перемотаны, или в случае капитального ремонта машины, рекомендуется следующая процедура:

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

b) при капитальном ремонте машины после очистки и сушки изоляция обмотки должна быть испытана напряжением, равным 1,5 значения номинального напряжения, но не менее 1000 В, если номинальное напряжение равно или превышает 100 В, и не менее 500 В, если номинальное напряжение менее 100 В.

Таблица 17 — Испытание изоляции обмоток повышенным напряжением

Пункт	Электрическая машина или ее части	Испытательное напряжение (действующее значение)[e]
1	Изолированные обмотки вращающихся машин номинальной мощностью менее 1 кВт (кВ · А) на номинальное напряжение ниже 100 В, за исключением указанных в пунктах 4—8	500 В + двукратное номинальное напряжение
2	Изолированные обмотки вращающихся машин номинальной мощностью менее 10 000 кВт (кВ · А), за исключением тех, которые указаны в пунктах 1 и 4—8[b]	
2a)	Для питания от сети синусоидального напряжения или для питания от преобразователя частоты, за исключением указанных в пункте 2b	1000 В + двукратное номинальное напряжение, но не менее 1500 В[a]

Продолжение таблицы 17

Пункт	Электрическая машина или ее части	Испытательное напряжение (действующее значение)[e]
2b)	С IVIC, присвоенным в соответствии с IEC 60034-18-41 или IEC 60034-18-42, т. е. подвергающимся воздействию повторяющихся импульсных напряжений, например, генерируемых преобразователями напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ)[f]	1000 В + двукратное номинальное напряжение, умноженное на коэффициент испытательного напряжения (TVF) согласно таблице 18, т. е. 1000 В + (2 · U_N · TVF)
3	Изолированные обмотки вращающихся машин с номинальной мощностью 10 000 кВт (кВ · А) или более, за исключением тех, которые указаны в пунктах 4—8[b]. Номинальное напряжение[a]: - до 24 000 В включительно, - выше 24 000 В	 1000 В + двукратное номинальное напряжение По согласованию
4	Обмотки возбуждения машин постоянного тока с независимым возбуждением	1000 В + двукратное максимальное номинальное напряжение возбуждения, но не менее 1500 В
5	Обмотки возбуждения синхронных машин: генераторов, двигателей и компенсаторов	
5a)	Номинальное напряжение возбуждения: - до 500 В включительно, - выше 500 В	 Десятикратное номинальное напряжение возбуждения, но не менее 1500 В 4000 В + двукратное номинальное напряжение возбуждения
5b)	Машины, для которых предусмотрен пуск с обмоткой возбуждения, короткозамкнутой или включенной на сопротивление, менее десятикратного сопротивления обмотки возбуждения	Десятикратное номинальное напряжение возбуждения, но не менее 1500 В и не более 3500 В
5c)	Машины, для которых предусмотрен пуск с обмоткой возбуждения, замкнутой на сопротивление, значение которого не менее десятикратного сопротивления обмотки, или с разомкнутой обмоткой возбуждения независимо от наличия или отсутствия выключателя для секционирования обмотки возбуждения	1000 В + двукратное максимальное действующее значение напряжения, которое может возникнуть при заданных пусковых условиях, между выводами обмотки возбуждения или в случае секционированной обмотки возбуждения между выводами любой секции, но не менее 1500 В[c]
6	Вторичные обмотки (обычно ротора) асинхронных двигателей или синхронизированных асинхронных двигателей, не находящиеся постоянно в короткозамкнутом состоянии (например, предназначенных для реостатного пуска)	
6a)	Для нереверсивных двигателей или реверсируемых только из неподвижного состояния	1000 В + двукратное напряжение разомкнутой цепи при неподвижном состоянии, измеренное между контактными кольцами или вторичными выводами при номинальном напряжении, приложенном к первичным обмоткам
6b)	Для двигателей, допускающих реверсирование или торможение посредством реверсирования первичного питания во время работы двигателя	1000 В + четырехкратное напряжение разомкнутой вторичной цепи при 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 отсоединены от обмоток возбуждения Исключение 2: обмотки возбуждения возбудителей с независимым возбуждением (см. пункт 4)	То же, что для обмоток, к которым они присоединены 1000 В + двукратное номинальное напряжение возбудителя, но не менее 1500 В

Окончание таблицы 17

Пункт	Электрическая машина или ее части	Испытательное напряжение (действующее значение)[e]
8	Электрически связанные машины и аппараты	Если группа собрана из нескольких новых, только что установленных и соединенных вместе машин и аппаратов, из которых каждая машина и каждый аппарат проходили испытания на электрическую прочность в соответствии с пунктами 1—7, то повторные испытания по возможности не проводят; если же они признаны необходимыми, то испытательное напряжение не должно превышать 80 % испытательного напряжения той машины (или того аппарата), у которой (которого) это напряжение наименьшее[d]
9	Устройства (приборы), которые находятся в физическом контакте с обмотками, например температурные преобразователи, должны быть испытаны относительно корпуса машины. Во время испытания повышенным напряжением машины все устройства, находящиеся в физическом контакте с обмоткой, должны быть соединены с корпусом	1500 В
10	Для устройств, применяемых в цепях сверхнизкого напряжения с защитной развязкой, не применяемых во взрывоопасных средах, при проведении испытаний по предыдущим пунктам достаточно подключить их к корпусу	Испытание не требуется

[a] Для двухфазных обмоток, имеющих один общий вывод, за номинальное напряжение, по которому определяется испытательное напряжение, принимается наибольшее действующее значение напряжения, возможного между любыми двумя выводами во время работы машины.

[b] Испытательное напряжение для машин с разными уровнями изоляции вдоль обмотки определяется по согласованию с заказчиком.

[c] Напряжение, возникающее между выводами обмоток возбуждения или их секциями в указанных начальных условиях, может быть измерено при любом удобном пониженном напряжении питания, и измеренное таким образом напряжение должно быть увеличено в соотношении указанного начального напряжения питания.

[d] Для обмоток одной или нескольких машин, соединенных между собой электрически, учитываемое напряжение является максимальным напряжением, которое возникает по отношению к земле.

[e] Ток утечки, потребляемый машиной во время проверки на выдерживаемое напряжение, будет варьироваться в зависимости от размера машины.

[f] В случае присвоения IVIC достаточно проверить только изоляцию между фазой и землей.

Таблица 18 — Коэффициенты испытательного напряжения для машин с присвоенным классом импульсной прочности изоляции (IVIC) согласно IEC 60034-18-41 и IEC 60034-18-42

Обмотки согласно IEC 60034-18-41		Обмотки согласно IEC 60034-18-42	
IVIC фаза — земля	Коэффициенты испытательного напряжения	IVIC фаза — земля	Коэффициенты испытательного напряжения
A	1,0	От 1 до 4	1,0
B	1,0	5	1,2
C	1,3	6	1,3
D	1,7	7	1,5
S[a]	Y/(2√2)	S[a]	Y/(2√2)

[a] В случае, если изготовитель указал класс импульсной прочности изоляции (IVIC), S,Y — это максимально допустимое рабочее значение размаха фазного напряжения в единицах номинального напряжения U_N.

9.3 Кратковременные перегрузки по току

9.3.1 Общие положения

Способность вращающихся электрических машин к кратковременным перегрузкам по току необходима для обеспечения координации машин с устройствами их управления и защиты, а также для повышения надежности работы как самих машин, так и энергосети при некоторых анормальных режимах. Настоящий стандарт не устанавливает испытаний, подтверждающих эту способность. Нагревание обмотки машины примерно пропорционально произведению квадрата тока и времени воздействия. Ток, превышающий номинальный, вызывает повышение температуры сверх нормированной температуры при номинальном токе. Если не согласовано иное, считается, что за срок службы машина будет работать при кратковременных перегрузках по току лишь в течение коротких периодов времени. Если машина переменного тока предназначена для использования как в качестве генератора, так и в качестве двигателя при различных номинальных токах, то способность к перегрузке должна устанавливаться по согласованию.

Примечание — Требование в отношении допустимых перегрузок синхронных машин по току обратной последовательности в условиях неисправности см. в 7.2.3.

9.3.2 Генераторы

Генераторы переменного тока с номинальной выходной мощностью не более 1200 МВ · А должны выдерживать ток, в 1,5 раза превышающий номинальный, в течение не менее 30 с.

Генераторы переменного тока с номинальной выходной мощностью свыше 1200 МВ · А должны выдерживать ток, равный 1,5-кратному номинальному току, в течение интервала времени, который должен быть согласован, но этот интервал времени должен составлять не менее 15 с.

Генераторы переменного тока должны выдерживать ток ротора, в 2 раза превышающий номинальный, в течение не менее 10 с.

9.3.3 Двигатели (кроме коллекторных двигателей и двигателей с постоянными магнитами)

Многофазные двигатели с номинальной мощностью не более 315 кВт и номинальным напряжением не более 1 кВ должны выдерживать:

- ток, в 1,5 раза превышающий номинальный ток, не менее 2 мин.

Примечание — Для многофазных двигателей с номинальной мощностью более 315 кВт и всех однофазных двигателей кратковременная перегрузка по току не нормируется.

9.3.4 Коллекторные машины

Коллекторные машины должны выдерживать ток, равный 1,5 номинального тока, в течение 60 с при сочетании следующих условий:

a) частота вращения:
   1) двигатель постоянного тока: максимальная частота вращения при полном возбуждении;
   2) генератор постоянного тока: номинальная частота вращения;
   3) коллекторный электродвигатель переменного тока: максимальная частота вращения при полном возбуждении;
b) напряжение якоря: соответствует указанной частоте вращения.

Следует обратить внимание на предельные значения коммутационной способности. Пределы коммутации определены в IEC 60034-19.

9.4 Кратковременная перегрузка двигателей по вращающему моменту

9.4.1 Многофазные асинхронные двигатели и двигатели постоянного тока

Если не оговорено иное, двигатели независимо от режима работы и конструкции должны выдерживать в течение 15 с без остановки или резкого изменения частоты вращения перегрузку по вращающему моменту, равную 60 % номинального значения (при постепенном увеличении нагрузочного момента). При этом подведенное к двигателю напряжение и его частота должны сохранять номинальные значения.

Для некоторых двигателей, выпускаемых по IEC 60034-12, требуются более высокие значения вращающих моментов.

Для двигателей постоянного тока повышенный крутящий момент должен быть выражен через ток перегрузки.

Двигатели для режима работы S9 должны быть способны кратковременно выдерживать избыточный крутящий момент, определяемый в соответствии с указанным режимом работы.

Для приблизительного определения изменения температуры из-за потерь, связанных с током, может использоваться тепловая эквивалентная постоянная времени, определенная в соответствии с 8.8.

Двигатели, предназначенные для конкретных применений, требующих высокого крутящего момента (например, для подъема), должны быть предметом соглашения.

Для асинхронных двигателей короткозамкнутого типа, специально предназначенных для обеспечения пускового тока менее 4,5-кратного номинального тока, повышенный крутящий момент может быть ниже значения 60 %, указанного в первом пункте, но не менее 50 %, или значение избыточного крутящего момента является предметом соглашения.

В случае специальных типов асинхронных двигателей с особыми присущими пусковыми свойствами, например двигателей, предназначенных для использования с переменной частотой, или асинхронных двигателей, питаемых от статических преобразователей, величина повышенного крутящего момента должна быть предметом соглашения.

9.4.2 Многофазные синхронные двигатели

Если не согласовано иное, многофазные синхронные двигатели независимо от режима работы при возбуждении, соответствующем номинальной нагрузке, в течение 15 с должны выдерживать без выпадения из синхронизма указанные ниже перегрузки по вращающему моменту. При автоматическом управлении возбуждением предельные значения моментов должны быть теми же, что и с возбуждением при обычных режимах эксплуатации:

- синхронизированные асинхронные двигатели (с фазным ротором) — 35 % номинального вращающего момента;
- синхронные двигатели с неявнополюсными роторами — 35 % номинального вращающего момента;
- синхронные двигатели с явнополюсными роторами — 50 % номинального вращающего момента.

9.4.3 Другие типы двигателей

Кратковременные перегрузки по вращающему моменту однофазных, коллекторных и прочих двигателей должны устанавливаться по согласованию с заказчиком.

9.5 Минимальный вращающий момент при пуске

Если не оговорено иное (например, для асинхронных двигателей, соответствующих IEC 60034-12), значение минимального вращающего момента асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором в процессе пуска (седлового момента) при номинальном напряжении должно быть не менее 0,3 номинального вращающего момента.

9.6 Безопасная рабочая частота вращения короткозамкнутых асинхронных двигателей

Все трехфазные односкоростные короткозамкнутые асинхронные двигатели до 315 габарита включительно с номинальным напряжением до 1000 В включительно должны быть способны к длительной безопасной работе без риска, связанного с причинением ущерба, при частотах вращения до значений, указанных в таблице 19, если в таблице номинальных данных не указано иное.

Таблица 19 — Максимальные значения безопасной рабочей частоты вращения ($мин^{-1}$) трехфазных односкоростных короткозамкнутых асинхронных двигателей номинальным напряжением до 1000 В включительно.

Номер габарита	Двухполюсные	Четырехполюсные	Шестиполюсные
≤ 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

Окончание таблицы 19

Номер габарита	Двухполюсные	Четырехполюсные	Шестиполюсные
280	3600	2300	1800
315	3600	2300	1800
Примечание — Указанные выше значения могут быть уменьшены, чтобы соответствовать требованиям IEC 60079.			

При работе на частотах вращения выше номинальной, например при использовании с регуляторами частоты вращения, уровень шума и вибрации будет увеличиваться. Пользователь может потребовать от изготовителя точной балансировки ротора двигателя для приемлемой работы выше номинальной частоты вращения. Срок службы подшипников может быть уменьшен. Следует обратить внимание на интервалы повторной смазки и срок службы смазки.

9.7 Повышенная частота вращения

Конструкцией электрических машин должна быть предусмотрена возможность выдерживания повышенных частот вращения, указанных в таблице 20.

Проведение испытания при повышенных частотах вращения обычно не требуется, однако оно может быть проведено по согласованию с заказчиком, если это предусмотрено в стандартах и технических условиях на отдельные типы машин (например, для турбогенераторов по IEC 60034-3). Результаты испытания при повышенной частоте вращения считаются удовлетворительными, если после окончания испытания нет видимых нежелательных остаточных деформаций и не обнаруживается других дефектов, которые помешали бы нормальной работе машины, и при условии, что изоляция обмотки ротора после испытаний повышенным напряжением удовлетворяет требованиям электрической прочности. Продолжительность любого испытания на превышение частоты вращения должна составлять 2 мин.

Незначительное остаточное увеличение диаметра ротора, вызванное податливостью шихтованного ротора, шихтованных полюсов, закрепленных клиньями или болтами, и т. д., является естественным и не должно рассматриваться как нежелательная деформация, указывающая на то, что машина непригодна для нормальной работы.

Во время ввода в эксплуатацию синхронного генератора с гидротурбинным приводом машина должна вращаться с частотой вращения, которой она может достичь при включенной защите от превышения частоты вращения, чтобы убедиться, что баланс является удовлетворительным до этой частоты вращения.

Таблица 20 — Повышение частоты вращения

Пункт	Тип машины	Повышенная частота вращения
1	Машины переменного тока Все машины, кроме указанных ниже:	1,2 наибольшей номинальной частоты вращения
1a)	Гидротурбинные генераторы и любые вспомогательные машины, подключенные напрямую (электрически или механически) к основной машине	Угонная частота вращения агрегата, если не установлено иное, не менее 1,2 наибольшей номинальной частоты вращения
1b)	Машины, которые при определенных обстоятельствах могут вращаться под действием нагрузки	Нормированная угонная частота вращения агрегата не менее 1,2 наибольшей номинальной частоты вращения
1c)	Двигатели с последовательным возбуждением и универсальные двигатели	1,1 частоты вращения при холостом ходе при номинальном напряжении. Для двигателей, сопряженных с нагрузкой так, что они не могут быть случайно отсоединены, выражение «частота вращения при холостом ходе» следует понимать как частоту вращения, соответствующую наименьшей из возможных нагрузок
1d)	Трехфазные односкоростные короткозамкнутые асинхронные двигатели, указанные в 9.6	1,2 максимальной безопасной рабочей частоты вращения

Окончание таблицы 20

Пункт	Тип машины	Повышенная частота вращения
2	Машины постоянного тока	
2a)	Двигатели с параллельным или независимым возбуждением	Наибольшее из двух значений: 1,2 максимальной номинальной частоты вращения или 1,15 частоты вращения при холостом ходе
2b)	Двигатели смешанного возбуждения, имеющие регулирование частоты вращения 35 % или менее от номинальной	Наибольшее из двух значений: 1,2 максимальной номинальной частоты вращения или 1,15 частоты вращения при холостом ходе, но не более 1,5 максимальной номинальной частоты вращения
2c)	Двигатели смешанного возбуждения с регулированием частоты вращения более 35 % номинальной и сериесные двигатели	Изготовитель должен устанавливать максимальную безопасную рабочую частоту вращения и указывать ее на паспортной табличке номинальных данных. Повышенная частота вращения должна быть равна 1,1 максимальной безопасной рабочей частоты вращения. Указания максимальной безопасной рабочей частоты вращения на табличке номинальных данных не требуется для двигателей, выдерживающих увеличение частоты вращения до 1,1 частоты вращения при холостом ходе и номинальном напряжении
2d)	Двигатели с постоянными магнитами	Повышенная частота вращения, указанная в 2a), исключая двигатели, имеющие также последовательную обмотку; в этом случае они должны выдерживать повышенную частоту, указанную в 2b) или 2c)
2e)	Генераторы	1,2 номинальной частоты вращения

9.8 Ток короткого замыкания синхронных машин

Если не указано иное, наибольшее мгновенное значение тока короткого замыкания для синхронных машин, включая машины турбинного типа, не охваченные IEC 60034-3, в случае короткого замыкания на всех фазах при работе на номинальном напряжении, не должно превышать в 15-кратного амплитудного значения или в 21 раз действующее значение номинального тока.

Определение значения тока может быть проведено расчетом или испытанием при напряжении не менее 0,5 номинального.

9.9 Испытание синхронных машин на устойчивость к коротким замыканиям

Испытание на внезапное трехфазное короткое замыкание синхронных машин проводят только по требованию потребителя. В этом случае, если не оговорено иное, испытание проводят на машине, работающей в режиме холостого хода с возбуждением, соответствующим номинальному напряжению. Испытание не следует проводить при более высоком возбуждении, чем соответствующее 1,05-кратному номинальному напряжению холостого хода.

Возбуждение при испытании, указанное выше, может быть уменьшено по согласованию с заказчиком для учета полного сопротивления трансформатора, который может быть включен между машиной и сетью. При этом может быть также оговорено, что испытание следует проводить на месте установки при работе штатного устройства форсировки возбуждения. Короткое замыкание должно выдерживаться в течение 3 с.

Результаты испытания считают удовлетворительными, если после испытания не отмечается никаких остаточных деформаций и если после опыта внезапного короткого замыкания изоляция обмотки

статора выдержала испытания повышенным напряжением по таблице 17. Испытания трехфазных турбогенераторов по IEC 60034-3.

9.10 Испытание коммутации коллекторных машин

Коллекторные машины постоянного и переменного тока должны быть способны работать как без нагрузки, так и с перегрузкой по току или вращающему моменту, указанной в 9.3 и 9.4 соответственно, без заметного повреждения поверхности коллектора или щеток и без опасного искрения, и без изменения положения щеток. Если возможно, коммутационные испытания следует проводить на машине в нагретом состоянии.

Примечание — Приложение А IEC 60276:2018 поясняет, как оценивать эти критерии. В 8.3.2 IEC 60034-19:2014 дополнительно указано, что «Коммутация оценивается любыми средствами, которые производитель считает надежными».

9.11 Суммарный коэффициент гармонических искажений (THD — Total harmonic distortion) синхронных машин

9.11.1 Общие положения

Требования этого подпункта применяются только к синхронным машинам с номинальной мощностью 300 кВт (кВ · А) или более, предназначенным для подключения к электрическим сетям, работающим на номинальных частотах от $16\frac{2}{3}$ Гц до 100 Гц включительно, с целью минимизации помех, создаваемых машинами.

9.11.2 Предельные значения

При испытании машины в режиме холостого хода при номинальной частоте вращения и номинальном напряжении суммарный коэффициент гармонических искажений линейного напряжения, измеренный методом, изложенным в 9.11.3, не должен превышать 5 %.

Примечание — Предельные значения отдельных гармоник не указываются, так как считается, что машины, отвечающие вышеуказанным требованиям, будут работать удовлетворительно.

9.11.3 Испытания

Для проверки соответствия требованиям 9.11.2 следует проводить типовые испытания машин переменного тока. Интервал измеряемых частот должен включать все гармоники от номинальной частоты до 100-й гармоники. Синхронные двигатели не нуждаются в измерении.

THD может быть измерен непосредственно с помощью специального измерительного прибора и соответствующей измерительной схемы, либо каждая отдельная гармоника должна быть измерена, и из измеренных значений THD должен быть рассчитан по следующей формуле:

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

где u_n — отношение линейного напряжения U_n гармоники n машины к линейному напряжению основной гармоники U_1 машины;

n — номер гармоники;

k = 100.

9.12 Проверка защитного заземления

При типовом испытании машины с номинальным напряжением, не превышающим 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока соответственно, дополнительно должно быть проведено испытание защитного заземления.

Машины с номинальным напряжением, не превышающим 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока соответственно, и с заземляющей клеммой требуют испытания типа защитного заземления для обеспечения малых внутренних сопротивлений. Если это не определено другим стандартом на продукцию, типовое испытание может быть проведено путем определения падения напряжения между точкой машины, которая может соприкоснуться с частями, находящимися под напряжением,

и клеммой заземления. Испытание считается успешным, если измеренное значение сопротивления $R_{PE,M}$ между этими двумя точками не превышает:

$$R_{PE,M} \leq 0{,}8 \cdot 30 \text{ В}/(K \cdot I_N) \text{ для переменного тока,}$$

$$R_{PE,M} \leq 0{,}8 \cdot 60 \text{ В}/(K \cdot I_N) \text{ для постоянного тока,}$$

где I_N — номинальный ток машины,

0,8 — коэффициент запаса,

K — коэффициент, представленный на рис. 13.

Коэффициент K вводится из типичного предохранителя, предназначенного для непосредственного пуска с отношением пускового тока к номинальному току 10, умноженному на 2. Этот подход действителен также и для генераторов. Для номинальной мощности выше 1000 кВт применяется K = 3,4.

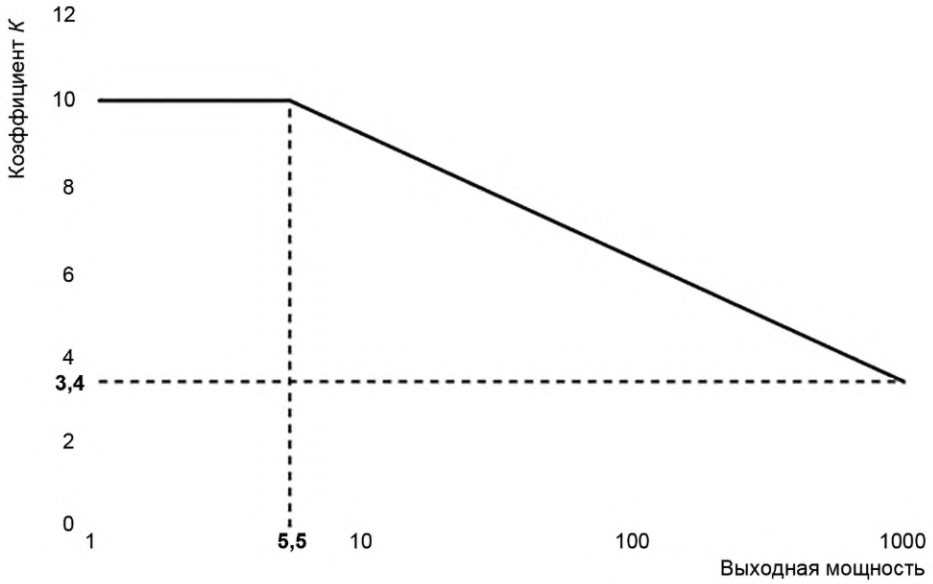


Рисунок 13 — Коэффициент K для определения $R_{PE,M}$

Ток, используемый для определения сопротивления $R_{PE,M}$, должен быть не менее 3 А.

Примечание — Метод основан на типовом испытании импеданса защитного уравнивания потенциалов, описанном в IEC 62477-1.

9.13 Измерение сопротивления изоляции и показателя (индекса) поляризации изоляции обмоток

Для измерения сопротивления изоляции и индекса поляризации изоляции обмотки см. IEC 60034-27-4.

9.14 Измерение электрического напряжения между концами вала

Измерение электрического напряжения между концами вала не должно проводиться в случае изолированных подшипников (1 МОм или выше для синусоидального или постоянного источника питания) или в случаях, когда речь идет о вопросах безопасности. Напряжения между концами вала частоты питания (не путать с высокочастотным напряжением на валу, см. 3.37) должно измеряться непосредственно между двумя концами вала электрической машины, работающей при номинальном напряжении и номинальной частоте без нагрузки. Не допускается определять напряжение на валу путем измерения напряжения между валом и землей на двух подшипниках и вычитания значений, так как это может привести к получению ложных результатов. Напряжения между концами вала должно оцениваться как действующее значение. Если между производителем и потребителем не согласовано никаких других ограничений, действующее значение напряжения на валу в случае неизолированных шариковых или роликовых подшипников (или аналогичных устройств) не должно превышать 350 мВ.

10 Информационные требования

10.1 Общие положения

Каждая электрическая машина должна поставляться с соответствующей документацией, содержащей минимально необходимую информацию (см. 10.4) и заводскую табличку или заводские таблички (см. 10.3).

10.2 Документация на изделие

Документация на изделие должна быть предоставлена производителем, включая технические паспорта и/или руководство по эксплуатации. Эта документация может поставляться вместе с машиной физически или в цифровой форме. Для серийного производства стандартизированных машин эта информация также должна быть доступна непосредственно на общедоступном веб-сайте производителя. Минимальное содержание документа на продукцию приведено в 10.4.

10.3 Паспортная табличка

Таблички должны быть изготовлены из прочного материала и надежно закреплены. Надпись должна быть выполнена стойкой маркировкой (например, печатью, гравировкой).

Табличку с техническими данными предпочтительно монтировать на корпусе машины и располагать так, чтобы она была легко читаема в положении использования, определяемом типом конструкции и монтажным устройством машины. Если электрическая машина настолько закрыта или встроена в оборудование, что ее заводская табличка трудно читаема, изготовитель должен по запросу предоставить вторую табличку для установки на оборудование.

Паспортная табличка(и) должна иметь стойкую маркировку с указанием пунктов 10.4, если они применимы. Не обязательно, чтобы все данные были на одной табличке. Буквенные обозначения единиц и величин должны соответствовать IEC 60027-1 и IEC 60027-4.

В качестве опции на заводской табличке или другой части машины (например, внутри клеммной коробки машины) может быть указан электронный идентификационный символ, например: QR-код, включая прямую ссылку на документацию изделия на сайте производителя.

Примечание — QR-код соответствует стандарту ISO/IEC 18004:2015.

За исключением обычного технического обслуживания (смазка, чистка, замена подшипников), при модернизации или восстановлении машины должна быть установлена новая табличка с указанием наименования компании, выполняющей работы, года ремонта. В случае модификации изменения, затрагивающие исходные данные заводской таблички также должны быть отображены на этой дополнительной табличке. Дополнительную информацию о модификациях и их влиянии на технические данные, не указанные на заводской табличке, можно получить у компании, выполняющей работы.

10.4 Информационное содержание

10.4.1 Общие сведения

Позиции, указанные в 10.4.2—10.4.5, должны быть указаны, если применимо, в документации на изделие, а также на паспортной табличке(ах). Если производитель предоставляет дополнительную информацию в документации на изделие, ее не обязательно указывать на заводской табличке(ах). Пункты 10.4.6 являются необязательными, но рекомендуются как минимум для машин номинальной мощностью более 5 кВт (или 5 кВ · А).

Позиции пронумерованы от a) до jj) для удобства использования, но порядок их указания в документации на изделие и на табличке(ах) с техническими данными не стандартизирован. Указанные выше позиции можно комбинировать.

10.4.2 Минимальные требования к информации

Минимальные информационные требования для машин всех номинальных мощностей, включая машины специального назначения и встраиваемые:

a) наименование изготовителя и (или) товарный знак;

b) заводской номер машины или идентификационный код.

Примечание — Индивидуальный идентификационный код может быть использован для идентификации каждой машины из группы машин, которые были сделаны по одним электрическим и механическим расчетам и изготовлены одной партией с использованием одной технологии;

c) тип машины, установленный производителем;

d) год изготовления;

e) номинальное(ые) напряжение(я) или диапазон изменения номинального напряжения; два разных номинальных значения обозначаются знаком «/» (например, 400 В/230 В), а диапазон номинальных значений обозначается знаком «—» (например, 380—440 В).

Примечание — Во всех этих случаях изменения напряжения (и частоты) в соответствии с 7.4 действительны и не указываются в отдельности;

f) номинальный ток(и) или диапазон изменения номинального тока;

g) указания по подключению в соответствии с IEC 60034-8 в виде схемы (или текста, расположенного рядом с клеммами);

h) номинальная мощность(и) или диапазон номинальной выходной мощности и класс(ы) номинальной мощности машины, если она рассчитана на работу, отличную от номинала для непрерывной работы S1, — см. 5.2;

i) номинальная частота(ы) вращения или диапазон номинальной частоты вращения и допустимое превышение частоты вращения, если они отличаются от указанных в 9.7, или максимальная безопасная рабочая частота вращения, если она меньше, указанной в 9.6, или в случае преобразовательной машины, выраженная в единицах мин$^{-1}$ или 1/мин. В случае преобразовательного режима машины диапазон изменения частот вращения также может быть указан в единицах или процентах от номинальной частоты вращения;

j) для двигателей, соответствующих IEC 60034-30-1 и IEC 60034-30-2, класс эффективности (код IE), а для двигателей, соответствующих IEC 60034-30-1, также номинальный КПД;

k) приблизительная общая масса машины, если она превышает 30 кг;

l) степень защиты, обеспечиваемая конструкцией вращающейся электрической машины (код IP) в соответствии с IEC 60034-5;

m) термический класс и предел температуры или превышения температуры (если он ниже термического класса) в соответствии с IEC 60085 и, при необходимости, метод измерения, сопровождаемый в случае машины с теплообменником с водяным охлаждением символом «P» или «S» в зависимости от того, измеряется ли превышение температуры над первичным или вторичным теплоносителем соответственно (см. 8.2). Эта информация должна быть приведена для статора и ротора (разделенная косой чертой), если их термический класс различен;

n) для двигателей, входящих в область применения IEC 60034-12, используется буква конструкции, указанная в пункте 5 IEC 60034-12:2016, с указанием начальных требований, если это не соответствует конструкции N;

o) для машин, пригодных для работы только в одном направлении вращения, направление вращения указывается либо путем указания по часовой стрелке (cw), либо против часовой стрелки (ccw) на заводской табличке, либо стрелкой. Эта стрелка не обязательно должна быть на паспортной табличке, но она должна быть легко видна;

p) высота, на которую рассчитана машина, если она превышает 1000 м над уровнем моря.

10.4.3 Все машины переменного тока

10.4.3.1

q) для машин переменного тока — количество фаз и соединения фаз;

r) для машин переменного тока — номинальная частота, а для машин с преобразователем — термин «режим преобразователя».

Для универсальных двигателей после номинальной частоты должен стоять соответствующий символ, например ~ 50 Гц/ ⎓ (IEC 60417-5031) или переменный ток 50 Гц/постоянный ток.

10.4.3.2 Все синхронные машины

s) в случае машин, возбуждаемых постоянными магнитами, напряжение холостого хода при номинальной частоте вращения;

t) в случае электрического возбуждения — номинальное напряжение возбуждения и номинальный ток возбуждения;

u) при электрическом возбуждении — номинальный коэффициент мощности.

10.4.3.3 Все асинхронные машины с фазным ротором

v) номинальное напряжение холостого хода между контактными кольцами и номинальный ток контактных колец.

10.4.4 Все машины постоянного тока

w) для машин с независимым или параллельным возбуждением — номинальное напряжение возбуждения и номинальный ток возбуждения;

x) номинальный форм-фактор и номинальное переменное напряжение на входных клеммах статического преобразователя мощности, если оно превышает номинальное постоянное напряжение цепи якоря двигателя.

10.4.5 Машины номинальной мощностью более 5 кВт (или 5 кВ · А)

y) номера применимых стандартов (IEC 60034-x и/или эквивалентных национальных стандартов). Наличие маркировки IEC 60034 означает соответствие всем соответствующим стандартам серии IEC 60034. Если отмечен IEC 60034-1, это подразумевает соответствие самому стандарту, а не ссылкам;

z) максимальная температура окружающего воздуха, если она отличается от 40 °С;

aa) минимальная температура окружающего воздуха, если она отличается от указанной в 6.4;

bb) максимальная температура охлаждающей жидкости, если она отличается от 30 °С;

cc) для машин с водородным охлаждением — давление водорода при номинальной мощности.

10.4.6 Дополнительная информация

dd) метод охлаждения (код IC) в соответствии с IEC 60034-6, если он не IC411;

ee) для машин переменного тока — номинальный(е) коэффициент(ы) мощности;

ff) для асинхронных машин — полная мощность при заторможенном роторе;

gg) типы подшипников, тип смазки или масла и интервал смазки в случае роликовых или шариковых подшипников;

hh) для двигателей с режимом работы S9 допустимый мгновенный повышенный крутящий момент при номинальной частоте вращения в процентах от номинального крутящего момента, если значение превышает 160 %;

ii) для машин с присвоенным IVIC уровень IVIC соответствует IEC 60034-18-41 или IEC 60034-18-42 соответственно;

jj) для машин с преобразователем (см. 3.35) используется термин «с преобразователем».

11 Прочие требования

11.1 Защитное заземление машин

Машины должны быть снабжены заземляющим зажимом или другим устройством для присоединения защитного или заземляющего провода.

Символ ⏚ (IEC 60417-5019) или маркировка должны обозначать это устройство. Однако это требование не распространяется на машины:

a) снабженные дополнительной изоляцией;

b) входящие как составляющая часть в устройства, имеющие дополнительную изоляцию;

c) номинальным напряжением не более 50 В переменного тока или 120 В постоянного тока и предназначенные для использования в системах SELV (Separated Extra Low Voltage).

Примечание — Термин SELV определен в IEC 60884-2-4.

В машинах с номинальным напряжением более 50 В переменного тока или 120 В постоянного тока, но не превышающим 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока, зажимы для присоединения заземляющего провода должны быть расположены вблизи выводов линейных проводников в коробке выводов, если она предусмотрена. Машины номинальной мощностью более 100 кВт (кВ · А) должны иметь дополнительно зажим заземления на корпусе.

Машины номинальным напряжением более 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока должны иметь заземляющий зажим на корпусе, например стальную полосу, и, кроме того, зажим в коробке выводов для подсоединения, в случае наличия, токопроводящей оболочки кабеля.

Конструкцией зажимов для заземления должна быть предусмотрена возможность обеспечения надежного соединения с заземляющим проводом, исключающего повреждение зажима или провода. Доступные проводящие части, не являющиеся частью основной рабочей цепи, должны быть надежно соединены между собой и с зажимом заземления. В тех случаях, когда все подшипники и обмотка ротора машины изолированы, вал должен быть электрически соединен с зажимом заземления, если изготовитель машины и заказчик не согласовали иные меры защиты.

Если зажим заземления находится в коробке выводов, то заземляющий провод должен быть из того же металла, что и провода фаз на выводах.

Если зажим заземления находится на корпусе, заземляющий провод по согласованию с заказчиком может быть выполнен из другого металла (например, из стали). В этом случае при проектировании клеммы необходимо уделить должное внимание проводимости провода.

Заземляющая клемма должна быть рассчитана на размещение заземляющего проводника с площадью поперечного сечения в соответствии с таблицей 21. Если используется заземляющий проводник, размер которого превышает размер, указанный в таблице, рекомендуется, чтобы он соответствовал как можно более близкому к одному из других перечисленных размеров.

Для других областей поперечного сечения проводников фазы заземляющий или защитный проводник должен иметь площадь поперечного сечения, по меньшей мере, эквивалентную:

- сечению фазного проводника для площади поперечного сечения менее 25 мм^2;
- 25 мм^2 для площади поперечного сечения от 25 мм^2 до 50 мм^2;
- 50 % от сечения фазного проводника для площади поперечного сечения, превышающей 50 мм^2.

Для генераторов ≥20 МВ · А площадь поперечного сечения заземляющего проводника вне машины должна рассчитываться проектировщиком, а площадь поперечного сечения шины нейтральной точки — изготовителем, чтобы безопасно выдерживать ток короткого замыкания при двойном замыкании на землю в течение времени, пока машина не будет отключена. Заземляющий терминал должен быть идентифицирован в соответствии с IEC 60445.

В документации каждой машины с номинальным напряжением не более 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока соответственно должно быть четко указано, что после установки машины необходимо провести испытание защитного заземления, как того требует IEC 60364, если применимо, или как указано в конкретных требованиях заказчика. Ответственность за проведение этого испытания лежит не на производителе машины, а на конечном пользователе или системном интеграторе.

Примечание — Для небольших машин с размерами рамы менее 63 мм надлежащее заземление может быть обеспечено только одним фланцем.

Таблица 21 — Площадь поперечного сечения заземляющих проводников

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

11.2 Шпонки на конце вала

Если на конце вала предусмотрены одна или несколько шпоночных канавок, то каждая канавка должна быть заполнена шпонкой стандартной формы и длины.

12 Допустимые отклонения

12.1 Общие положения

Допустимое отклонение (см. таблицу 22) — это максимальное отклонение между результатом испытания и заявленным значением на табличке с паспортными данными или в каталоге. Если используются процедуры проверки и испытательное оборудование в соответствии со стандартами IEC, результаты проверки не должны превышать допустимое отклонение независимо от испытательной лаборатории или оборудования. Допуск не охватывает неопределенность процедуры испытания, т. е.

отклонение между результатом испытания и истинным значением. Допуски самого испытательного оборудования включены в допуски, указанные в таблице 22.

Примечания

1 В случае серийного производства оценка допустимых отклонений применяется к любому выбранному образцу, т. е. допустимые отклонения охватывают изменения свойств сырья и производственных процедур.

2 Подробную информацию о влиянии неопределенности измерений можно найти в Руководстве IEC 115:2021.

12.2 Допустимые отклонения параметров машин

Допустимые отклонения параметров машин от нормативных значений должны соответствовать значениям, указанным в таблице 22, если не оговорено другое.

Таблица 22 — Допустимые отклонения параметров

Пункт	Величина	Допустимое отклонение
1	Коэффициент полезного действия η^c	–15 % от $(1 - \eta)$
2	Номинальный ток возбуждения синхронных машин	+15 % от нормативного значения
3	Коэффициент мощности cos φ для асинхронных машин и синхронных машин с постоянными магнитами, работающих непосредственно в сети	–1/6 $(1 - \cos \varphi)$ Минимальное абсолютное значение 0,02 Максимальное абсолютное значение 0,07
4	Скорость двигателей постоянного тока (при полной нагрузке и при рабочей температуре)[a]	
4a)	Машина с параллельным и независимым возбуждением	$1000\ P_N/n_N < 0{,}67$ ± 15 % $0{,}67 \le 1000\ P_N/n_N < 2{,}5$ ± 10 % $2{,}5 \le 1000\ P_N/n_N < 10$ ± 7,5 % $10 \le 1000\ P_N/n_N$ ± 5 %
4b)	Машина с последовательным возбуждением	$1000\ P_N/n_N < 0{,}67$ ± 20 % $0{,}67 \le 1000\ P_N/n_N < 2{,}5$ ± 15 % $2{,}5 \le 1000\ P_N/n_N < 10$ ± 10 % $10 \le 1000\ P_N/n_N$ ± 7,5 %
4c)	Машина со смешанным возбуждением	Допустимое отклонение как для позиции 4b), если не оговорено иное
5	Изменение частоты вращения двигателей постоянного тока с параллельным или смешанным возбуждением (от холостого хода до полной нагрузки)	±20 % изменения частоты вращения, но не менее ±2 % номинальной частоты вращения
6	Относительное изменение напряжения генераторов постоянного тока с параллельным или независимым возбуждением в любой точке характеристики	±20 % изменения напряжения для этой точки
7	Относительное изменение напряжения генераторов смешанного возбуждения (при номинальном коэффициенте мощности в случае переменного тока)	±20 % изменения напряжения, но не менее ±3 % номинального напряжения (указанное отклонение применимо к максимальному изменению при любой нагрузке между напряжением при данной нагрузке и прямой линией, проведенной между точками напряжения холостого хода и напряжения при полной нагрузке)
8a)	Скольжение асинхронного двигателя (при полной нагрузке и при рабочей температуре) $P_N < 1$ кВт $P_N > 1$ кВт	 ±30 % скольжения ±20 % скольжения

Окончание таблицы 22

Пункт	Величина	Допустимое отклонение
8b)	Частота вращения двигателей переменного тока (коллекторных) с жесткими (шунтовыми) характеристиками (при полной нагрузке и рабочей температуре)	Для максимальной частоты вращения: –3 % синхронной частоты вращения; для минимальной частоты вращения: +3 % синхронной частоты вращения
9	Начальный пусковой ток асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором с любым специальным пусковым устройством	+20 % от нормативного значения; для двигателей, подпадающих под действие IEC 60034-12, предел полной мощности заторможенного ротора, указанный в IEC 60034-12, не должен превышаться
10	Вращающий момент асинхронных короткозамкнутых двигателей при заторможенном роторе	+25 % и –15 % от вращающего момента при заторможенном роторе (по согласованию с заказчиком +25 % могут быть превышены)
11	Минимальный пусковой момент в процессе пуска короткозамкнутых асинхронных двигателей	–15 % минимального пускового момента
12	Максимальный момент асинхронного двигателя	–10 % крутящего момента, за исключением того, что после учета этого допуска крутящий момент должен быть не менее чем в 1,6 или 1,5 раза больше номинального крутящего момента (см. 9.4.1)
13	Ток синхронных двигателей при заторможенном роторе	+20 % от нормативного значения
14	Вращающий момент синхронных двигателей при заторможенном роторе	+25 % и –15 % нормативного значения (по согласованию с заказчиком +25 % могут быть превышены)
15	Перегрузочный вращающий момент синхронных двигателей	–10 % максимального вращающего момента, причем при применении этого допуска вращающий момент должен оставаться не менее 1,35 или 1,5 от номинального значения) (см. 9.4.2)
16	Пиковое значение тока короткого замыкания генератора переменного тока при заданных условиях	±30 % от нормативного значения[b]
17	Установившийся ток короткого замыкания генератора переменного тока при заданном возбуждении	±15 % от нормативного значения
18	Момент инерции	±10 % от нормативного значения
19	Средний уровень звукового давления или уровень звуковой мощности при холостом ходе и синусоидальном питании	+3 dB(A)
П р и м е ч а н и е — Когда отклонение указывается только в одном направлении, значение не ограничивается в другом направлении.		
[a] Отклонения в пункте 4 зависят от отношения номинальной мощности P_N, кВт, к номинальной частоте вращения, мин$^{-1}$. [b] Для некоторых типов допуски в пункте 16 слишком велики. Производитель и заказчик могут договориться о более высокой точности. [c] Допуск на коэффициент полезного действия подразумевает допуск на общие потери +15 % от общих потерь.		

13 Электромагнитная совместимость (ЭМС)

13.1 Общие положения

Требования электромагнитной совместимости, указанные в этом пункте, распространяются на вращающиеся электрические машины с номиналом не более 1000 В переменного или 1500 В постоянного напряжений, предназначенные для эксплуатации в жилых, коммерческих или промышленных условиях.

Электронные компоненты, установленные внутри вращающейся электрической машины и имеющие важное значение для ее работы (например, вращающиеся устройства возбуждения), являются частью машины.

Требования, относящиеся к системе привода в целом и к его компонентам, например электронным системам регулирования, устройствам контроля в процессе работы (мониторинга) и т. п., независимо от того, встроены они в машину или находятся вне ее, не входят в область применения настоящего стандарта.

Требования настоящего раздела относятся к машинам, которые присоединены непосредственно к рабочему механизму.

Примечания

1 Цель данного пункта — дать рекомендации по контрактным соглашениям между поставщиком и конечным пользователем.

2 Машины, предназначенные для включения в качестве компонентов в устройство, где корпус и сборка будут влиять на ЭМС, подпадают под действие стандарта ЭМС, относящегося к конечному продукту.

В синхронных машинах электронные источники питания статора возбудителя, являющегося частью синхронной машины, должны соответствовать требованиям ЭМС настоящего стандарта.

Примечание — Поскольку генератор на электростанции часто представляет собой очень объемную машину, имеющую высокие магнитные поля вне корпуса, Генпроектировщик определяет зоны вокруг генератора в машинном зале, внутри которых поля могут быть выше, чем в соответствии с требованиями CISPR, он также может закрыть эти зоны для электронных устройств, разрешив работу в них только специальному персоналу.

Настоящий раздел не распространяется на переходные процессы, например, такие как пуск двигателей.

13.2 Устойчивость машин к электромагнитным помехам

13.2.1 Машины, не содержащие электронные цепи

Машины, не содержащие электронные цепи, в нормальных условиях эксплуатации не чувствительны к электромагнитной эмиссии, поэтому для них не требуется проведение испытаний на устойчивость к электромагнитным помехам.

13.2.2 Машины со встроенными электронными цепями

Для машин, содержащих встроенные электронные цепи, которые обычно используются как пассивные компоненты (например, диоды, сопротивления, варисторы, емкости, индукторы), проведение испытаний на устойчивость к электромагнитным помехам не требуется.

13.3 Излучаемые и кондуктивные помехи

Машины обычно используют такие компоненты, как варисторы, конденсаторы, ограничители перенапряжения. Излучаемые и кондуктивные помехи для машин, предназначенных для использования в жилых помещениях, должны соответствовать требованиям CISPR 11 для оборудования группы 1 класса B (см. таблицу B.1).

Излучаемые и кондуктивные помехи для машин, предназначенных для использования в промышленных условиях, должны соответствовать требованиям CISPR 11 для оборудования группы 1 класса A с номинальной входной мощностью ≤20 кВ · А, независимо от их фактической номинальной входной мощности. Эти предельные значения также указаны в таблице B.2.

13.4 Проверки на помехоустойчивость

Проверки на помехоустойчивость не требуются.

13.5 Измерения помех, создаваемых машинами

Для вращающихся электрических машин общего назначения типовые проверки должны проводиться в соответствии с CISPR 11 и соответствующими частями серии стандартов CISPR 16, в зависимости от обстоятельств. Типовые проверки вращающихся электрических машин, предназначенных для сборки в конечные изделия в рамках CISPR 14, должны проводиться также с учетом рекомендаций, изложенных в CISPR 14.

Для измерений применяются требования, указанные в 13.3.

Машины без щеток должны соответствовать пределам выбросов 13.3 при любых условиях нагрузки.

Машины со щетками должны, по крайней мере, соответствовать пределам выбросов CISPR 11 для оборудования группы 1 класса А с номинальной входной мощностью ≤20 кВ · А, независимо от их фактической номинальной входной мощности, при проверках без нагрузки. Такие машины должны быть обозначены как компоненты класса А.

Асинхронные электрические машины с короткозамкнутым ротором не нуждаются в измерении.

Излучение на выводах, предназначенных для заземления, измерять не нужно.

14 Требования безопасности

Электрические машины, относящиеся к настоящему стандарту, должны удовлетворять требованиям безопасности IEC 60204-1 или IEC 60204-11, а для электрических машин, встроенных в бытовые и им подобные электроприборы, — IEC 60335-1, если иное не оговорено в настоящем стандарте. Данные машины должны быть спроектированы и выполнены с максимальным учетом международной практики в соответствии с их назначением.

Примечание — Производитель или сборщик оборудования, в состав которого входят электрические машины, несет ответственность за обеспечение безопасности всего оборудования.

Это может включать рассмотрение соответствующих стандартов на продукцию, таких как:

IEC 60079 (все части) и другие части IEC 60034, включая:

IEC 60034-5, IEC 60034-6, IEC 60034-7, IEC 60034-8, IEC 60034-9, IEC 60034-11, IEC 60034-12 и IEC 60034-14.

Кроме того, может потребоваться учесть ограничение температур поверхности и аналогичные характеристики; см., например, IEC 60335-1:2010, раздел 11: Нагрев.

Приложение А
(справочное)

Руководство по применению типового режима S10 и определению относительного термического срока службы изоляционной системы *TL*

А.1 Нагрузка машины в любой момент эквивалентна рабочему режиму S1, соответствующему 4.2.1. Однако цикл нагрузки может содержать другие нагрузки, отличные от номинальных, в зависимости от типа нагрузки S1. Цикл нагрузки, включающий четыре дискретные комбинации постоянной нагрузки/частоте вращения, показан на рисунке 10.

А.2 В зависимости от величины и продолжительности различных нагрузок в течение одного цикла, относительный ожидаемый срок службы машины на основе теплового старения системы изоляции может быть рассчитан по следующей формуле:

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

где TL — ожидаемый относительный термический срок службы, отнесенный к ожидаемому термическому сроку службы изоляции в случае работы с номинальной (базовой) мощностью в типовом режиме S1;

$\Delta\Theta_i$ — разница между превышением температуры обмотки при каждой из различных нагрузок внутри одного цикла и превышением температуры при базовой нагрузке в режиме S1;

Δt_i — продолжительность отдельных неизменных нагрузок внутри рабочего цикла, отнесенная к продолжительности всего рабочего цикла;

k — увеличение превышения температуры, которое ведет к сокращению термического срока службы изоляционной системы на 50 %;

n — число дискретных величин нагрузки.

А.3 Значение *TL* является интегральной характеристикой при определении номинала.

А.4 Значение величины *TL* может быть определено только тогда, когда в дополнение к информации, касающейся цикла нагрузки согласно рисунку 10, известно значение *k* для системы изоляции. Это значение *k* должно быть определено экспериментально в соответствии с IEC 60034-18 для всего диапазона температур, в пределах которого происходит цикл нагрузки в соответствии с рисунком 10.

А.5 *TL* может быть разумно определена только как относительная величина. Это значение можно использовать приближенно для оценки реального изменения ожидаемого теплового срока службы машины по сравнению с режимом работы S1 с номинальной мощностью, поскольку можно предположить, что, принимая во внимание изменяющиеся нагрузки, существующие в течение цикла, остаточные влияния на срок службы машины (например, диэлектрическое напряжение, влияние окружающей среды) примерно такие же, как и в случае режима работы S1 с номинальной мощностью.

А.6 Производитель машины несет ответственность за правильное составление различных параметров для определения значения *TL*.

Приложение В
(справочное)

Предельные значения показателей электромагнитной совместимости (ЭМС)

Таблица В.1 — Предельные значения электромагнитного излучения по CISPR 11, класс В, группа 1

	Диапазон частот	Ограничения
Уровень излучения	30 МГц до 230 МГц	30 дБ (мкВ/м) квазипиковый, измеренный на расстоянии 10 м (см. примечание)
	230 МГц до 1000 МГц	37 дБ (мкВ/м) квазипиковый, измеренный на расстоянии 10 м (см. примечание)
Кондуктивные помехи на выводах, присоединенных к питающей сети переменного тока	0,15 МГц до 0,50 МГц Пределы уменьшаются линейно с логарифмической частотой	От 66 дБ (мкВ) до 56 дБ(мкВ) квазипиковые От 56 дБ(мкВ) до 46 дБ(мкВ) в среднем
	0,50 МГц до 5 МГц	56 дБ (мкВ) квазипиковые 46 дБ (мкВ) в среднем
	5 МГц до 30 МГц	60 дБ (мкВ) квазипиковые 50 дБ (мкВ) в среднем
Примечание — Может измеряться на расстоянии 3 м с использованием пределов, увеличенных на 10 дБ.		

Таблица В.2 — Предельные значения электромагнитного излучения по CISPR 11, класс А, группа 1

	Диапазон частот	Ограничения
Уровень излучения	30 МГц до 230 МГц	30 дБ (мкВ/м) квазипиковый, измеренное расстояние 30 м (см. примечание)
	230 МГц до 1000 МГц	37 дБ (мкВ/м) квазипиковый, измеренное расстояние 30 м (см. примечание)
Кондуктивные помехи на выводах, присоединенных к питающей сети переменного тока	0,15 МГц до 0,50 МГц	79 дБ (мкВ) квазипиковый 66 дБ (мкВ) в среднем
	0,50 МГц до 30 МГц	73 дБ (мкВ) квазипиковый 60 дБ (мкВ) в среднем
Примечание — Может измеряться на расстоянии 10 м с использованием пределов, увеличенных на 10 дБ, или измеряться на расстоянии 3 м с использованием пределов, увеличенных на 20 дБ.		

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
IEC 60027-1:1992	IDT	ГОСТ IEC 60027-1—2015 «Обозначения буквенные, применяемые в электротехнике. Часть 1. Основные положения»
IEC 60027-4:2006	IDT	ГОСТ IEC 60027-4—2013 «Обозначения буквенные, применяемые в электротехнике. Часть 4. Машины электрические вращающиеся»
IEC 60034-2	—	*, 1)
IEC 60034-3:2020	—	*, 2)
IEC 60034-5:2020	—	*, 3)
IEC 60034-6:1991	IDT	ГОСТ МЭК 60034-6—2007 «Машины электрические вращающиеся. Часть 6. Методы охлаждения (код IC)»
IEC 60034-8:2007	IDT	*, 4)
IEC 60034-12:2016	IDT	ГОСТ IEC 60034-12—2021 «Машины электрические вращающиеся. Часть 12. Пусковые характеристики односкоростных трехфазных двигателей с короткозамкнутым ротором»
IEC 60034-15:2009	IDT	ГОСТ IEC 60034-15—2014 «Машины электрические вращающиеся. Часть 15. Предельные уровни импульсного напряжения для вращающихся машин переменного тока с шаблонной катушкой статора»
IEC 60034-18 (все части)	IDT	ГОСТ IEC 60034-18-1—2014 «Машины электрические вращающиеся. Часть 18-1. Оценка функциональных показателей систем изоляции. Общие требования» ГОСТ IEC 60034-18-21—2014 «Машины электрические вращающиеся. Часть 18-21.Оценка функциональных показателей систем изоляции. Методы испытаний обмоток из обмоточного изолированного провода. Оценка тепловых характеристик и классификация» ГОСТ IEC 60034-18-22—2014 «Машины электрические вращающиеся. Часть 18-22. Оценка функциональных показателей систем изоляции. Методики испытаний обмоток из обмоточного изолированного провода. Классификация изменений при замене компонентов изоляции» ГОСТ IEC 60034-18-31—2014 «Машины электрические вращающиеся. Часть 18-31. Оценка функциональных показателей систем изоляции. Методы испытаний для шаблонных обмоток. Оценка и классификация систем изоляции, используемых во вращающихся машинах, по тепловым характеристикам» ГОСТ IEC 60034-18-32—2014 «Машины электрические вращающиеся. Часть 18-32. Оценка функциональных показателей систем изоляции. Методы испытаний для шаблонных обмоток. Оценка электрической стойкости»

1) Действует ГОСТ IEC 60034-2-1—2017, идентичный IEC 60034-2-1:2014.

2) Действует ГОСТ IEC 60034-3—2015, идентичный IEC 60034-3:2007.

3) Действует ГОСТ IEC 60034-5—2011, идентичный IEC 60034-5:2006.

4) Действует ГОСТ IEC 60034-8—2015, идентичный IEC 60034-8:2014.

Продолжение таблицы ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
		ГОСТ IEC/TS 60034-18-33—2014 «Машины электрические вращающиеся. Часть 18-33. Оценка функциональных показателей систем изоляции. Методы испытаний для шаблонных обмоток. Многофакторная оценка стойкости систем изоляции в условиях совместного воздействия при термической и электрической нагрузках» ГОСТ IEC 60034-18-34—2014 «Машины электрические вращающиеся. Часть 18-34. Оценка функциональных показателей систем изоляции. Методы испытаний для шаблонных обмоток. Оценка термомеханической стойкости систем изоляции»
IEC 60034-18-41:2014	—	*, 1)
IEC 60034-18-42:2017	—	*, 2)
IEC 60034-19:2014	IDT	ГОСТ IEC 60034-19—2017 «Машины электрические вращающиеся. Часть 19. Специальные методы испытаний для машин постоянного тока с обычной подачей электропитания и через выпрямитель»
IEC TS 60034-25:2014	IDT	ГОСТ IEC/TS 60034-25—2017 «Машины электрические вращающиеся. Часть 25. Электрические машины переменного тока, используемые в системах силового привода. Руководство по применению»
IEC TS 60034-27-4	—	*
IEC 60034-29:2008	IDT	ГОСТ IEC 60034-29—2013 «Машины электрические вращающиеся. Часть 29. Эквивалентные методы нагрузки и наложения. Косвенное определение превышения температуры»
IEC 60034-30-1:2014	IDT	ГОСТ IEC 60034-30-1—2016 «Машины электрические вращающиеся. Часть 30-1. Классы КПД двигателей переменного тока, работающих от сети (код IE)»
IEC TS 60034-30-2	IDT	ГОСТ IEC/TS 60034-30-2—2021 «Машины электрические вращающиеся. Часть 30-2. Классы эффективности двигателей переменного тока с регулированием частоты вращения (код IE)»
IEC 60034-33	—	*
IEC 60050-411:1996	IDT	ГОСТ IEC 60050-411—2015 «Международный электротехнический словарь. Часть 411. Машины вращающиеся»
IEC 60060-1:2010	—	*
IEC 60085:2007	IDT	*, 3)
IEC 60204-1:2016	—	*, 4)
IEC 60204-11:2018	—	*
IEC 60335-1:2020	—	*, 5)

---

1) Действует ГОСТ IEC/TS 60034-18-41—2014, идентичный IEC/TS 60034-18-41:2006.

2) Действует ГОСТ IEC/TS 60034-18-42—2014, идентичный IEC/TS 60034-18-42:2008.

3) В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 60085—2011, идентичный IEC 60085:2007.

4) В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 60204-1—2007, идентичный IEC 60204-1:2005.

5) Действуют ГОСТ IEC 60335-1—2015, идентичный IEC 60335-1:2013, и ГОСТ МЭК 60335-1—2008, идентичный IEC 60335-1:2006.

Продолжение таблицы ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
IEC 60364 (все части)	MOD	ГОСТ 30331.1—2013 (IEC 60364-1:2005) «Электроустановки низковольтные. Часть 1. Основные положения, оценка общих характеристик, термины и определения» ГОСТ 30331.2—95 (МЭК 364-3-93)/ГОСТ Р 50571.2—94 (МЭК 364-3—93) «Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики» ГОСТ 30331.4—95 (МЭК 364-4-42—80)/ ГОСТ Р 50571.4—94 (МЭК 364-4-42-80) «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий» ГОСТ 30331.5—95 (МЭК 364-4-43—77)/ГОСТ Р 50571.5—94 (МЭК 364-4-43—77) «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока» ГОСТ 30331.6—95 (МЭК 364-4-45-84)/ГОСТ Р 50571.6—94 (МЭК 364-4-5—84) «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от понижения напряжения» ГОСТ 30331.7—95 (МЭК 364-4-46—81)/ГОСТ Р 50571.7—94 (МЭК 364-4-46—81) «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Отделение, отключение, управление» ГОСТ 30331.9—95 (МЭК 364-4-473-77)/ГОСТ Р 50571.9—94 (МЭК 364-4-473—77) «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Применение мер защиты от сверхтоков»
IEC 60417	MOD	ГОСТ 28312—89 (МЭК 417—73) «Аппаратура радиоэлектронная профессиональная. Условные графические обозначения»
IEC 60445:2017	—	*, 1)
IEC 60664-1:2020	—	*, 2)
IEC 61148:2011	—	*
IEC TS 61800-8	IDT	ГОСТ IEC/TS 61800-8—2017 «Электрические приводные системы с регулируемой скоростью. Часть 8. Спецификация напряжения на силовом сопряжении»
CISPR 11:2015	IDT	ГОСТ CISPR 11—2017 «Электромагнитная совместимость. Оборудование промышленное, научное и медицинское. Характеристики радиочастотных помех. Нормы и методы испытаний»
CISPR 14 (все части)	MOD IDT	ГОСТ 30805.14.1—2013 (CISPR 14-1:2005) «Совместимость технических средств электромагнитная. Бытовые приборы, электрические инструменты и аналогичные устройства. Радиопомехи индустриальные. Нормы и методы измерений» ГОСТ CISPR 14-2—2016 «Электромагнитная совместимость. Требования для бытовых приборов, электрических инструментов и аналогичных аппаратов. Часть 2. Помехоустойчивость. Стандарт для группы однородной продукции»
CISPR 16 (все части)	IDT	ГОСТ CISPR 16-1-1—2016 «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 1-1. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерительная аппаратура»

[1] Действует ГОСТ 33542—2015 (IEC 60445:2010), модифицированный по отношению к IEC 60445:2010.

[2] В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 60664-1—2012, идентичный IEC 60664-1:2007.

Окончание таблицы ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
	IDT	ГОСТ CISPR 16-1-2—2016 «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 1-2. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Устройства связи для измерений кондуктивных помех»
CISPR 16 (все части)	MOD	ГОСТ 30805.16.1.3—2013 (CISPR 16-1-3:2004) «Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-3. Аппаратура для измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости. Устройства для измерения мощности радиопомех»
	MOD	ГОСТ 30805.16.2.1—2013 (CISPR 16-2-1:2005) «Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 2-1. Методы измерений параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости. Измерение кондуктивных радиопомех»
	MOD	ГОСТ 30805.16.2.2—2013 (CISPR 16-2-2:2005) «Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 2-2. Методы измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости. Измерение мощности радиопомех»
	IDT	ГОСТ CISPR 16-2-3-2016 «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерения. Часть 2-3. Методы измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерения излучаемых помех»
	IDT	ГОСТ CISPR 16-2-4—2017 «Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 2-4. Методы измерения радиопомех и помехоустойчивости. Измерения помехоустойчивости»

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:

- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты.

Библиография

IEC 60034-7 Rotating electrical machines — Part 7: Classification of types of construction, mounting arrangements and terminal box position (IM Code)

IEC 60034-9 Rotating electrical machines — Part 9: Noise limits

IEC 60034-11 Rotating electrical machines — Part 11: Thermal protection

IEC 60034-14 Rotating electrical machines — Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher — Measurement, evaluation and limits of vibration severity

IEC TS 60034-24:2009 Rotating electrical machines — Part 24: Online detection and diagnosis of potential failures at the active parts of rotating electrical machines and of bearing currents — Application guide

IEC 60034-27 (all parts) Rotating electrical machines — Part 27: Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines

IEC 60079 (all parts) Explosive atmospheres

IEC 60092 (all parts) Electrical installations in ships

IEC 60276:2018 Carbon brushes, brush holders, commutators and slip-rings — Definitions and nomenclature

IEC 60349 (all parts) Electric traction — Rotating electrical machines for rail and road vehicles

IEC 60884-2-4 Plugs and socket-outlets for household and similar purposes — Part 2-4: Particular requirements for plugs and socket-outlets for SELV

IEC 62477-1, Safety requirements for power electronic converter systems and equipment — Part 1: General

IEC GUIDE 115:2021 Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector

ISO/IEC 18004:2015 Information technology — Automatic identification and data capture techniques — QR Code bar code symbology specification

УДК 621.313.281:006.354 МКС 29.160.01 IDT

Ключевые слова: машины электрические вращающиеся, номинальные значения, параметры, эксплуатационные характеристики

Редактор *Е.Ю. Митрофанова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 13.11.2024. Подписано в печать 04.12.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 7,58.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru