ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 54418.21 — 2011 (МЭК 61400-21: 2008)

Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические

Часть 21

ИЗМЕРЕНИЕ И ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК, СВЯЗАННЫХ С КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК, ПОДКЛЮЧЕННЫХ К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

IEC 61400-21:2008
Wind turbines — Part 21:
Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines (MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2012

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0 — 2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации в машиностроении» (ФГУП «ВНИИНМАШ») и Техническим комитетом по стандартизации ТК 039 «Энергосбережение, энергетическая эффективность, энергоменеджмент» на основе собственного аутентичного перевода на русский язык стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Управлением технического регулирования и стандартизации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 сентября 2011 г. № 341-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту МЭК 61400-21:2008 «Системы турбогенераторные ветровые. Часть 21. Измерение и оценка характеристик качества электроэнергии ветровых турбин с сетевым подсоединением» (IEC 61400-21:2008 «Wind turbines — Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines») путем внесения дополнительных требований, объяснение которых приведено во введении к настоящему стандарту.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2004 (пункт 3.5).

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомления и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2012

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 . . . 2
3 Термины и определения . . . 2
4 Обозначения и единицы физических величин . . . 4
5 Сокращения . . . 6
6 Характеристики ветроэлектрических установок, связанные с качеством электрической энергии . . . 6
6.1 Общие положения . . . 6
6.2 Технические характеристики ветроэлектрической установки . . . 6
6.3 Колебания напряжения . . . 6
6.3.1 Общие положения . . . 6
6.3.2 Непрерывная работа . . . 6
6.3.3 Операции переключения . . . 7
6.4 Гармоники тока, интергармоники и составляющие более высоких частот . . . 7
6.5 Воздействие провалов напряжения . . . 8
6.6 Активная мощность . . . 9
6.6.1 Максимальная измеренная мощность . . . 9
6.6.2 Ограничение изменения мощности . . . 9
6.6.3 Управление по заданным уставкам . . . 9
6.7 Реактивная мощность . . . 10
6.7.1 Максимально допустимая реактивная мощность . . . 10
6.7.2 Управление по заданным уставкам . . . 10
6.8 Защита сети . . . 10
6.9 Время повторного подключения . . . 10
7 Методы измерений . . . 11
7.1 Общие положения . . . 11
7.1.1 Достоверность результатов измерений . . . 11
7.1.2 Условия проведения измерений . . . 11
7.1.3 Средства измерений . . . 12
7.2 Технические характеристики ветроэлектрической установки . . . 13
7.3 Колебания напряжения . . . 13
7.3.1 Общие положения . . . 13
7.3.2 Расчетная электрическая сеть . . . 14
7.3.3 Непрерывная работа . . . 15
7.3.4 Операции переключения . . . 17
7.4 Гармоники тока, интергармоники и составляющие более высоких частот . . . 19
7.5 Воздействие провалов напряжения . . . 20
7.6 Активная мощность . . . 21
7.6.1 Максимальная измеренная мощность . . . 21
7.6.2 Ограничение изменения мощности . . . 21
7.6.3 Управление по заданным уставкам . . . 22
7.7 Реактивная мощность . . . 22
7.7.1 Максимально допустимая реактивная мощность . . . 22
7.7.2 Управление по заданным уставкам . . . 22
7.8 Защита электрической сети . . . 23
7.9 Время повторного подключения . . . 24
8 Оценка качества электрической энергии . . . 24
8.1 Общие положения . . . 24
8.2 Колебания напряжения . . . 24

8.2.1 Общие положения 24
8.2.2 Непрерывная работа 25
8.2.3 Операции переключения 25
8.3 Гармоники тока, интергармоники и составляющие более высоких частот 26
Приложение А (справочное) Форма отчета об испытаниях 28
Приложение В (справочное) Колебания напряжения и фликер 39
Приложение С (справочное) Измерение напряжения, активной и реактивной мощности 46
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте 48
Библиография 49

Введение

Настоящий стандарт, подготовленный на основе применения международного стандарта МЭК 61400-21:2008, относится к группе стандартов, регламентирующих требования к ветровым энергетическим установкам (ВЭУ).

Модификация настоящего национального стандарта по отношению к международному стандарту МЭК 61400-21:2008 осуществлена путем изменения отдельных характеристик, фраз и слов, касающихся содержания стандарта и замены ссылок на международные стандарты ссылками на национальные стандарты Российской Федерации и действующие в этом качестве межгосударственные стандарты.

Дополнительные положения, включенные в текст стандарта, выделены в тексте стандарта курсивом.

Сведения о соответствии национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДА.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика.
Установки ветроэнергетические**

Часть 21

ИЗМЕРЕНИЕ И ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК, СВЯЗАННЫХ С КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК, ПОДКЛЮЧЕННЫХ К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Renewable power engineering. Wind power engineering. Wind turbines. Part 21.
Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines

Дата введения — 2012 — 07 — 01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает:

- характеристики, значения которых должны быть определены для применения ветроэнергетических установок (ВЭУ), подключенных к электрической сети, с тем, чтобы сделать вывод о качестве электрической энергии, поставляемой ВЭУ, а также требования к этим характеристикам;
- порядок проведения измерений для количественного определения характеристик;
- порядок оценки соответствия требованиям к качеству электрической энергии, включая оценку качества электрической энергии, поставляемой ВЭУ конкретного вида, расположенной на заданной площадке, а также, возможно, при групповом размещении.

Методы измерений установлены для отдельно применяемых ВЭУ, подключенных к электрической сети трехфазного тока.

Установленные методы измерений применимы для ВЭУ любой мощности, хотя настоящий стандарт распространяется на ВЭУ только тех видов, которые предназначены для подключения к электрической сети в точке общего присоединения (ТОП) при среднем и высоком напряжении. Для ВЭУ этих видов должны быть определены характеристики и проведены испытания в соответствии с настоящим стандартом.

Результаты измерений характеристик применимы для определенной конфигурации и рабочего режима испытываемой ВЭУ конкретного вида. Другие конфигурации, включая изменение параметров настройки системы управления, которые приводят к изменению характеристик ВЭУ, связанных с качеством электрической энергии, требуют отдельной оценки.

Методы измерений обеспечивают максимально возможную независимость от особенностей площадки размещения, поэтому характеристики, связанные с качеством электрической энергии, измеренные на площадке испытательной лаборатории, считают справедливыми также для других площадок.

Порядок оценки соответствия требованиям, относящимся к качеству электрической энергии, применим к ВЭУ, подключенным к электрической сети в точке общего присоединения (ТОП) при среднем и высоком напряжении в системе энергоснабжения с фиксированной частотой (отклонение частоты не более ± 1 Гц) и со значительными возможностями регулирования активной и реактивной мощности. В иных случаях следует рассматривать принципы оценки соответствия требованиям, относящимся к качеству электрической энергии, установленные в настоящем стандарте, как рекомендации.

Издание официальное

Настоящий стандарт, предназначенный для применения при испытаниях ВЭУ, содержит также информацию, полезную при испытаниях ветроэлектростанций.

Примечание — В настоящем стандарте используют следующие значения номинального напряжения U_n в системе электроснабжения:

- низкое напряжение (НН) при $U_n \leq 1$ кВ;
- среднее напряжение (СН) при 1 кВ < $U_n \leq 35$ кВ;
- высокое напряжение (ВН) при $U_n > 35$ кВ.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р ИСО 9000—2001 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь

ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025—2006 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

ГОСТ Р 51317.3.3—2008 (МЭК 61000-3-3:2005) Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в низковольтных системах электроснабжения общего назначения. Технические средства с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе), подключаемые к электрической сети при несоблюдении определенных условий подключения. Нормы и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.3.12—2006 (МЭК 61000-3-12:2004) Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение гармонических составляющих тока, создаваемых техническими средствами с потребляемым током более 16 А, но не более 75 А (в одной фазе), подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения общего назначения. Нормы и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.4.7—2008 (МЭК 61000-4-7:2002) Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств

ГОСТ Р 51317.4.15—99 (МЭК 61000-4-15—97) Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Технические требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.4.30—2008 (МЭК 61000-4-30:2008) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии

ГОСТ Р 51237—98 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Термины и определения

ГОСТ 1983—2001 Трансформаторы напряжения. Общие технические условия

ГОСТ 7746—2001 Трансформаторы тока. Общие технические условия

ГОСТ 13109—97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения

ГОСТ 30372—95 Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения

ГОСТ Р 50392—92 Арматура для компенсаторов и уплотнений сильфонных металлических. Типы, основные параметры и размеры. Общие технические требования

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 51237, ГОСТ 30372, ГОСТ Р 51317.4.30, [1], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **непрерывная работа (для ВЭУ)** [continuous operation (for wind turbines)]: Нормальная работа ВЭУ, исключая операции пуск-останов.

3.2 **минимальная рабочая скорость ветра (для ВЭУ)** [cut-in wind speed (for wind turbines)]: Наименьшая скорость ветра на высоте оси ветроколеса, при которой ВЭУ начинает вырабатывать электрическую энергию.

3.3 **коэффициент дозы фликера при непрерывной работе (для ВЭУ)** [flicker coefficient for continuous operation (for wind turbines)]: Нормированное значение дозы фликера при непрерывной работе ВЭУ

$$c(\psi_k) = P_{st,fic} \cdot \frac{S_{k,fic}}{S_n},$$

где $P_{st,fic}$ — кратковременная доза фликера, вызываемого ВЭУ в фиктивной электрической сети (далее — расчетная электрическая сеть);

S_n — номинальная полная мощность ВЭУ;

$S_{k,fic}$ — полная мощность короткого замыкания расчетной электрической сети.

Примечание — При непрерывной работе ВЭУ коэффициент дозы фликера является одинаковым для кратковременных (10 мин) и длительных (2 ч) доз фликера.

3.4 **шаговый коэффициент дозы фликера (для ВЭУ)** [flicker step factor (for wind turbines)]: Нормированное значение дозы фликера при одиночной операции переключения в ВЭУ

$$k_f(\psi_k) = \frac{1}{130} \cdot \frac{S_{k,fic}}{S_n} \cdot P_{st,fic} \cdot T_p^{0,31},$$

где T_p — период измерения, достаточный для завершения переходного процесса переключения и ограниченный для исключения возможных колебаний мощности, вызванных турбулентностью воздушного потока;

$P_{st,fic}$ — кратковременная доза фликера, вызываемого ВЭУ в расчетной электрической сети;

S_n — номинальная полная мощность ВЭУ;

$S_{k,fic}$ — полная мощность короткого замыкания расчетной электрической сети.

Примечание — Кратковременная доза фликера $P_{st,fic}$ определяется за период времени T_p.

3.5 **максимальная измеренная мощность (для ВЭУ)** [maximum measured power (for wind turbines)]: Значение мощности, определенное в процессе непрерывной работы ВЭУ.

3.6 **фазовый угол полного сопротивления в сети (для ВЭУ)** [network impedance phase angle (for wind turbines)]: Фазовый угол полного сопротивления электрической сети при коротком замыкании

$$\psi_k = \text{arctg}(X_k/R_k),$$

где X_k — реактивное сопротивление электрической сети при коротком замыкании;

R_k — активное сопротивление электрической сети при коротком замыкании.

3.7 **нормальная работа (для ВЭУ)** [normal operation (for wind turbines)]: Безотказная работа в соответствии с требованиями эксплуатационной документации на ВЭУ.

3.8 **рабочий режим (для ВЭУ)** [operational mode (for wind turbines)]: Работа согласно настройкам системы управления, например, в режиме управления напряжением, частотой, реактивной мощностью, активной мощностью и т.д.

3.9 **выходная мощность (для ВЭУ)** [output power (for wind turbines)]: Электрическая активная мощность, вырабатываемая ВЭУ на ее зажимах.

3.10 **точка общего присоединения, ТОП** [point of common coupling, PCC]: Точка электрической сети, электрически ближайшая к конкретной нагрузке, к которой присоединены или могут присоединяться другие нагрузки.

Примечания

1 Нагрузками могут быть устройства, образцы оборудования или системы, а также удаленные электрические установки потребителей.

2 В некоторых случаях применение термина «точка общего присоединения» ограничивают электрической сетью общего назначения.

3.11 **система сбора мощности (для ВЭУ)** [power collection system (for wind turbines)]: Электрическая система, которая предназначена для приема электрической энергии, выработанной ВЭУ и последующей ее передачи в электрическую сеть.

3.12 **номинальная полная мощность (для ВЭУ)** [rated apparent power (for wind turbines)]: Полная мощность ВЭУ, работающей при номинальных значениях тока, напряжения и частоты

$$S_n = \sqrt{3} U_n I_n ,$$

где U_n — номинальное напряжение;

I_n — номинальный ток.

3.13 **номинальный ток (для ВЭУ)** [rated current (for wind turbines)]: Расчетно-допустимое значение электрического тока, соответствующее максимальной непрерывной электрической выходной мощности ВЭУ при условиях нормальной эксплуатации.

3.14 **номинальная мощность (для ВЭУ)** [rated power (for wind turbines)]: Максимальная непрерывная электрическая выходная мощность ВЭУ, достижимая при условиях нормальной эксплуатации.

3.15 **номинальная скорость ветра (для ВЭУ)** [rated wind speed (for wind turbines)]: Скорость ветра, при которой достигается номинальная мощность ВЭУ.

3.16 **простой (для ВЭУ)** [standstill (for wind turbines)]: Состояние, в котором находится остановленная ВЭУ.

3.17 **пуск (для ВЭУ)** [start-up (for wind turbines)]: Переходное состояние ВЭУ в период между простоем и началом выработки электрической энергии.

3.18 **операция переключения (для ВЭУ)** [switching operation (for wind turbines)]: Запуск ВЭУ или переключение между генераторами.

3.19 **интенсивность турбулентности** [turbulence intensity]: Отношение среднеквадратического значения отклонений скорости ветра к среднему значению скорости ветра, определенному из одного и того же набора выборок измеренной скорости ветра за установленный период времени.

3.20 **коэффициент изменения напряжения (для ВЭУ)** [voltage change factor (for wind turbines)]: Нормированное значение изменения напряжения при операции переключения ВЭУ

$$k_u(\psi_k) = \sqrt{3} \cdot \frac{U_{fic,\max} - U_{fic,\min}}{U_n} \cdot \frac{S_{k,fic}}{S_n} ,$$

где $U_{fic,\min}$ и $U_{fic,\max}$ — минимальное и максимальное среднеквадратические значения напряжения между фазным и нейтральным проводниками в расчетной электрической сети при операции переключения, измеряемые на интервале времени, равном одному периоду частоты сети;

U_n — номинальное линейное напряжение;

S_n — номинальная полная мощность ВЭУ;

$S_{k,fic}$ — полная мощность короткого замыкания расчетной электрической сети.

Примечание — Коэффициент изменения напряжения k_u аналогичен коэффициенту изменения тока k_i, который представляет собой отношение максимального пускового тока к номинальному току, при этом k_u является функцией фазового угла полного сопротивления сети. Наибольшее значение k_u будет численно близким к k_i.

3.21 **ветроэлектрическая установка (ВЭУ)** [wind turbine, WT]: Система, которая преобразует кинетическую энергию ветра в электрическую энергию.

3.22 **зажимы ВЭУ** [wind turbine terminals]: Устройства, являющиеся частью ВЭУ, указанные поставщиком ВЭУ для подключения к системе сбора мощности.

3.23 **валидация** *[validation]: Подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены.*

[ГОСТ Р ИСО 9000 – 2001, пункт 3.8.5]

4 Обозначения и единицы физических величин

В настоящем стандарте используются следующие обозначения и единицы физических величин:

$\frac{\Delta U_{dyn}}{U_n}$ — максимально допустимое изменение напряжения, %;

ψ_k — фазовый угол полного сопротивления электрической сети, град;

$\alpha_m(t)$ — фазовый угол основной гармоники измеренного напряжения, град;

β — показатель степени при суммировании гармоник;
$c(\psi_k)$ — коэффициент дозы фликера при непрерывной работе;
d — относительное изменение напряжения, %;
E_{Plti} — предельное значение длительной дозы фликера;
E_{Psti} — предельное значение кратковременной дозы фликера;
f_g — номинальная частота сети (50 или 60 Гц).

Примечание — в Российской Федерации номинальная частота сети равна 50 Гц;

$f_{m,i}$ — частота появления фликера в пределах i-й совокупности значений скорости ветра;
f_{over} — верхнее предельное значение частоты;
f_{under} — нижнее предельное значение частоты;
$f_{y,i}$ — частота появления значений скорости ветра в пределах i-й совокупности значений скорости ветра;
h — порядок гармоники;
$I_{h,i}$ — значение гармонического тока порядка h от i-й ВЭУ, А;
$i_m(t)$ — измеренное мгновенное значение тока, А;
I_n — номинальное значение тока, А;
$k_f(\psi_k)$ — шаговый коэффициент дозы фликера;
k_i — отношение максимального значения пускового тока к номинальному значению тока;
$k_u(\psi_k)$ — коэффициент изменения напряжения;
L_{fic} — индуктивность расчетной электрической сети, Гн;
N_{10m} — максимальное число однотипных операций переключения за период времени 10 мин;
N_{120m} — максимальное число однотипных операций переключения за период времени 120 мин;
N_{bin} — общее количество совокупностей значений скоростей ветра между $v_{cut\text{-}in}$ и 15 м/с;
n_i — коэффициент трансформации на i-й ВЭУ;
N_m — общее количество измеренных значений коэффициента дозы фликера;
$N_{m,i}$ — количество измеренных значений коэффициента дозы фликера в i-й совокупности значений скорости ветра;
$N_{m,i,c<x}$ — количество значений коэффициента дозы фликера меньших x в i-й совокупности скорости ветра;
N_{wt} — число ВЭУ;
P — активная мощность, Вт;
$P_{0,2}$ — максимальное измеренное значение активной мощности (среднее значение за 0,2 с), Вт;
P_{60} — максимальное измеренное значение активной мощности (среднее значение за 60 с), Вт;
P_{600} — максимальное измеренное значение активной мощности (среднее значение за 600 с), Вт;
P_{lt} — длительная доза фликера;
P_n — номинальная активная мощность ВЭУ, Вт;
$Pr(c < x)$ — интегральная функция распределения величины, с;
P_{st} — кратковременная доза фликера;
$P_{st,fic}$ — кратковременная доза фликера, вызываемого в расчетной электрической сети;
Q — реактивная мощность, вар;
R_{fic} — сопротивление расчетной электрической сети, Ом;
S_k — полная мощность электрической сети при коротком замыкании, В·А;
$S_{k,fic}$ — полная мощность расчетной электрической сети при коротком замыкании, В·А;
S_n — номинальная полная мощность ВЭУ, В·А;
THC — суммарный коэффициент гармонических составляющих тока, % I_n *(см. ГОСТ Р 51317.4.7, пункт 3.31)*;
T_p — продолжительность переходного процесса при операции переключения, с;
U — линейное напряжение, В;
$u_0(t)$ — мгновенное значение напряжения между фазным и нейтральным проводниками идеального источника напряжения, В;
$u_{fic(t)}$ — мгновенное значение напряжения между фазным и нейтральным проводниками, имитируемое в расчетной электрической сети, В;
$U_{fic,max}$ — максимальное значение напряжения между фазным и нейтральным проводниками в расчетной электрической сети, В;
$U_{fic,min}$ — минимальное значение напряжения между фазным и нейтральным проводниками в расчетной электрической сети, В;

U_n — номинальное линейное напряжение, В;
U_{under} — значение нижнего защитного уровня напряжения;
U_{over} — значение верхнего защитного уровня напряжения;
v_a — средняя годовая скорость ветра, м/с;
$v_{cut\text{-}in}$ — минимальная рабочая скорость ветра, м/с;
v_i — скорость ветра, соответствующая средней точке i-й совокупности значений скорости ветра;
w_i — весовой коэффициент i-й совокупности значений скорости ветра;
X_{fic} — реактивное сопротивление расчетной электрической сети, Ом;
Z_1 — значение полного сопротивления для ограничения тока короткого замыкания электрической сети, Ом;
Z_2 — полное сопротивление между фазными проводниками или междуфазным проводником и землей, Ом.

5 Сокращения

В настоящем стандарте используются следующие сокращения:
АЦП — аналого-цифровой преобразователь (A/D converter);
ДПФ — дискретное преобразование Фурье (DFT);
ВН — высокое напряжение (HV);
НН — низкое напряжение (LV);
СН — среднее напряжение (MV);
ТОП — точка общего присоединения (PCC).

6 Характеристики ветроэлектрических установок, связанные с качеством электрической энергии

6.1 Общие положения

В настоящем подразделе приведены характеристики, значения которых должны быть установлены для определения качества электрической энергии, вырабатываемой ВЭУ, а именно: технические характеристики ВЭУ (6.2), характеристики качества напряжения (6.3 — 6.4), характеристики реакции ВЭУ на провалы напряжения в сети (6.5), характеристики регулирования мощности ВЭУ (6.6 — 6.7), характеристики защиты сети и повторных подключений ВЭУ (6.8 — 6.9).

Форма отчета об испытаниях образца ВЭУ в испытательной лаборатории приведена в приложении А.

Должно быть выполнено правило знаков генератора, т. е. установлено положительное направление потока мощности от ВЭУ в электрическую сеть. Если ВЭУ заменяют резистором и дросселем, то активная и реактивная мощности должны быть отрицательными.

6.2 Технические характеристики ветроэлектрической установки

Должны быть точно установлены номинальные значения электрических величин, измеренные на зажимах ВЭУ, включая P_n, S_n, U_n и I_n.

Примечание — В контексте требований настоящего стандарта номинальные значения используются только для нормирования измеренных величин.

6.3 Колебания напряжения

6.3.1 Общие положения

Характеристика колебаний напряжения (значения доз фликера и изменений напряжения), вызываемых ВЭУ, должна быть определена в соответствии с 6.3.2 и 6.3.3.

6.3.2 Непрерывная работа

Коэффициент дозы фликера при непрерывной работе ВЭУ $c(\psi_k, v_a)$ должен быть установлен в таблице как 99-й процентиль при фазовых углах полного электрического сопротивления сети $\psi_k = 30°$, 50°, 70° и 85° для четырех различных распределений скоростей ветра со среднегодовыми скоростями ветра $v_a = 6$; 7,5; 8,5 и 10 м/с соответственно. Средние значения скорости ветра за 10 мин должны быть определены в соответствии с распределением Релея (см. примечание). Среднегодовая величина скорости ветра должна быть определена на высоте оси ветроколеса.

Характеристики должны быть установлены для ВЭУ, реактивная мощность которой в рабочем режиме максимально близка к нулю. Таким образом, если представляется возможным, уставка управления реактивной мощностью должна быть настроена на $Q = 0$. Если используется любой другой режим работы, об этом следует указать в отчете об испытаниях.

Примечание — Среднегодовое распределение скоростей ветра обычно соответствует вероятностному распределению Релея

$$F(v) = 1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_a}\right)^2\right),$$

где $F(v)$ — интегральная вероятностная функция распределения Релея для скорости ветра;

v_a — среднегодовая скорость ветра на высоте оси ветроколеса;

v — скорость ветра.

6.3.3 Операции переключения

Характеристики напряжения должны быть установлены для следующих видов операций переключения:

a) запуск ВЭУ при минимальной рабочей скорости ветра;

b) запуск ВЭУ при скорости ветра, равной или выше номинальной;

c) худший вариант переключения генераторов (применим только к ВЭУ, имеющей более одного генератора, или генератор с несколькими обмотками, см. также примечание 1).

Для каждого из указанных выше видов операций переключения должны быть указаны значения параметров, приводимых ниже, с учетом примечаний 2, 3:

- максимальное количество N_{10m} операций переключения за период времени 10 мин;
- максимальное количество N_{120m} операций переключения за период времени 2 ч;
- шаговый коэффициент дозы фликера $k_f(\psi_k)$ для фазовых углов полного сопротивления сети $\psi_k = 30°, 50°, 70°$ и $85°$;
- коэффициент изменения напряжения $k_u(\psi_k)$ для фазовых углов полного сопротивления сети $\psi_k = 30°, 50°, 70°$ и $85°$.

Характеристики должны быть установлены для ВЭУ, имеющей при работе значение реактивной мощности близкое к нулю, для случаев, когда возможно при управлении по уставкам задать величину уставки реактивной мощности $Q = 0$. Если используется любой другой режим работы, об этом следует указать в отчете об испытаниях.

Примечания

1 Наихудшими вариантами переключения генераторов являются: в отношении шагового коэффициента дозы фликера — операция переключения, которая дает наивысшее значение данного коэффициента; в отношении коэффициента изменения напряжения — операция переключения, которая дает наивысшее значение коэффициента изменения напряжения.

2 Значения N_{10m} и N_{120m} допускается определять с учетов данных, предоставляемых изготовителем, тогда как значения $k_f(\psi_k)$ и $k_u(\psi_k)$ должны быть измерены и рассчитаны.

3 В зависимости от системы управления ВЭУ максимальное число операций переключения за период времени 2 ч может превышать максимальное число операций переключения за период времени 10 мин менее чем в двенадцать раз.

6.4 Гармоники тока, интергармоники и составляющие более высоких частот

Для условий непрерывной работы ВЭУ должны быть установлены значения гармоник тока, интергармоник и составляющих более высоких частот (см. также примечание).

Значения составляющих тока (гармоник, интергармоник и составляющих более высоких частот) и значение суммарного коэффициента гармонических составляющих тока должны быть приведены в таблицах в процентах I_n для работы ВЭУ в интервалах активной мощности 0, 10, 20, … , 100 % P_n. (0, 10, 20, … , 100 % — средние точки интервалов).

Гармоники тока должны быть разбиты на подгруппы по частотам до значения частоты, превышающей рабочую частоту в сети в 50 раз. На основе значений характерных гармоник тока должен быть определен суммарный коэффициент гармонических составляющих тока.

Интергармоники тока должны быть разбиты на подгруппы по частоте до частоты 2 кГц, в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.7, приложение А*.

Составляющие тока более высоких частот должны быть разбиты на подгруппы для частот в диапазоне от 2 кГц до 9 кГц, в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.7, приложение В*.

Гармоники тока, интергармоники и составляющие более высоких частот должны быть установлены для ВЭУ при значении реактивной мощности, максимально близком к нулю (для случаев, когда возможно при управлении по уставкам задать величину уставки реактивной мощности $Q = 0$). Если используется любой другой режим работы, об этом следует указать в отчете об испытаниях.

Примечание — Гармоники тока допускается не учитывать, если их продолжительность ограничена малым периодом времени. Поэтому в контексте требований настоящего стандарта допускается не определять значения кратковременных гармоник тока, обусловленных запуском ВЭУ или иными операциями переключения.

6.5 Воздействие провалов напряжения

Воздействие провалов напряжения на ВЭУ, как указано в таблице 1, должно быть установлено для двух рабочих диапазонов мощности:

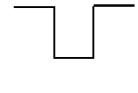
a) от 0,1 P_n до 0,3 P_n;

b) более 0,9 P_n.

Результаты воздействия должны включать в себя результаты двух последовательных измерений активной и реактивной мощности, напряжения, активного и реактивного тока на зажимах ВЭУ для каждого из случаев (ПН1—ПН6, см. таблицу 1). Время измерения должно охватывать период от момента, непосредственно предшествующего началу провала напряжения, до момента восстановления напряжения. Должен быть также указан рабочий режим ВЭУ.

Главной целью данного испытания является верификация реакции ВЭУ на воздействие провалов напряжения, вызванных повреждениями в электрической среде, а также обеспечение основных данных для проверки достоверности численной модели ВЭУ. Для более подробной оценки имитационной модели, а также для обеспечения соответствия установленным требованиям подключения электрической сети могут быть проведены и отражены в отчете об испытаниях дополнительные испытания и измерения (например, при изменении угла установки лопастей и скорости вращения).

Таблица 1 — Требования к провалам напряжения

Вариант испытаний	Значение линейного напряжения (относительно напряжения непосредственно перед провалом)	Значение напряжения прямой последовательности (относительно напряжения непосредственно перед провалом)	Продолжительность, с	Форма провала напряжения
ПН1 — симметричный трехфазный провал напряжения	0,90 ± 0,05	0,90 ± 0,05	0,5 ± 0,02	
ПН 2 — симметричный трехфазный провал напряжения	0,50 ± 0,05	0,50 ± 0,05	0,5 ± 0,02	
ПН 3 — симметричный трехфазный провал напряжения	0,20 ± 0,05	0,20 ± 0,05	0,2 ± 0,02	
ПН 4 — двухфазный провал напряжения	0,90 ± 0,05	0,95 ± 0,05	0,5 ± 0,02	
ПН 5 — двухфазный провал напряжения	0,50 ± 0,05	0,75 ± 0,05	0,5 ± 0,02	
ПН 6 — двухфазный провал напряжения	0,20 ± 0,05	0,60 ± 0,05	0,2 ± 0,02	
Примечание — Значения провалов напряжения, их продолжительность и форма относятся к провалам напряжения, возникающим при отключении испытываемой ВЭУ.				

Примечания

1 Провал напряжения может вызвать отключение ВЭУ, не только в связи с процессами в устройстве подключения к электрической сети, но также из-за механической вибрации или низкого максимально допустимого напряжения вспомогательных электрических цепей. Поэтому необходимо проводить испытания ВЭУ в целом, не ограничиваясь испытаниями только приводного механизма.

2 Основное назначение вариантов испытаний ПН1 и ПН4 состоит в проверке ВЭУ, не предназначенных для работы в условиях значительных провалов напряжения. Результаты данных испытаний, как правило, являются основанием для подтверждения правильности численной имитационной модели ВЭУ.

6.6 Активная мощность

6.6.1 Максимальная измеренная мощность

Максимальную измеренную мощность ВЭУ определяют как среднее значение мощности P_{600} при периоде времени измерений 600 с, среднее значение мощности P_{60} при периоде времени измерений 60 с и среднее значение мощности $P_{0,2}$ при периоде времени измерений 0,2 с.

6.6.2 Ограничение изменения мощности

Способность ВЭУ работать в режиме контролируемых ограничений скорости измерения характеристик должна быть отражена в протоколе испытаний в результате испытаний, представленных в виде графика. На графике с периодом выполнения испытаний продолжительностью 10 мин должны быть отражены номинальная и измеренная активная выработанная мощность в процессе работы с изменениями мощности в пределах 10%-ного отклонения от номинальной мощности в минуту.

Результаты испытания должны быть представлены как усредненные данные, полученные при интервале времени измерения 0,2 с.

6.6.3 Управление по заданным уставкам

Способность ВЭУ работать в режиме управления по заданным уставкам активной мощности должна быть отражена в результатах испытаний, представленных в виде графика. На графике должны быть указаны номинальная и измеренная активная мощность ВЭУ при работе с установленными контрольными точками, соответствующими изменению мощности от 100 % до 20 % номинальной мощности со значением шага 20 %, и продолжительностью работы при каждом значении уставки по 2 мин в соответствии с рисунком 1.

Результаты испытания должны быть представлены как усредненные данные, полученные при интервале измерения 0,2 с.

Примечание — Способность ВЭУ функционировать в режиме автоматического управления частотой связана с ее способностью работать в режиме управления по заданным уставкам активной мощности. Автоматическое управление частотой ветроэлектростанции, в частности, осуществляется при помощи системы диспетчерского контроля и сбора данных, которая может непрерывно обновлять уставки активной мощности отдельных ВЭУ для обеспечения требуемого значения частоты.

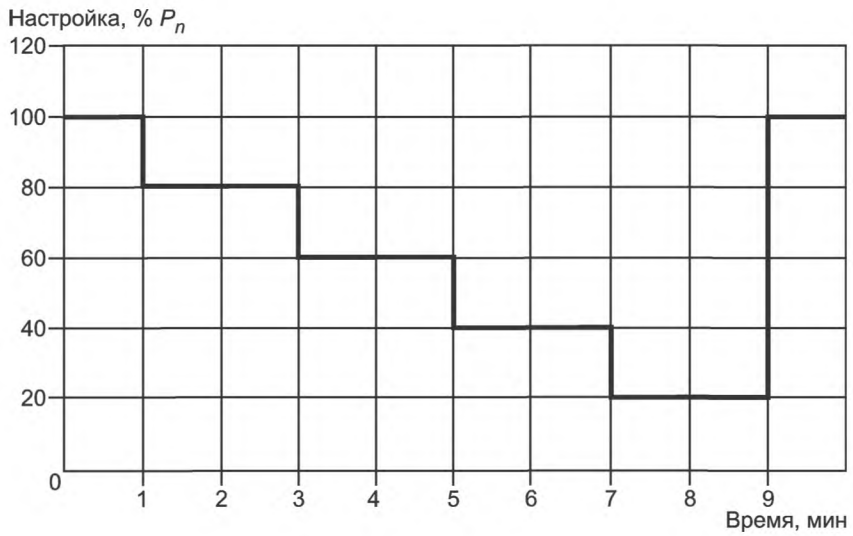


Рисунок 1 — Уставки активной мощности

6.7 Реактивная мощность

6.7.1 Максимально допустимая реактивная мощность

Производительность ВЭУ в отношении максимальных значений индуктивной и емкостной реактивной мощности должна быть указана в таблице в виде средних значений за интервал времени 1 мин для значений номинальной мощности 0, 10, ... 90, 100 %.

6.7.2 Управление по заданным уставкам

Управление реактивной мощностью по заданным уставкам должно быть отражено в табличном и графическом виде как указано ниже.

Таблица должна содержать измеренные значения реактивной мощности при величине уставки реактивной мощности, равной нулю для работы при 0, 10, 20, ... 100 % активной выходной мощности.

Активная и реактивная мощности должны быть представлены в виде средних значений, полученных при интервале времени измерения 1 мин.

График должен представлять собой зависимость значений измеренной реактивной мощности от изменений шага уставки реактивной мощности в соответствии с рисунком 2. Измеренное среднее значение активной выходной мощности за интервал времени 1 мин должно составлять приблизительно 50 % номинальной мощности. Значения реактивной мощности должны быть средними значениями за интервал времени 0,2 с.

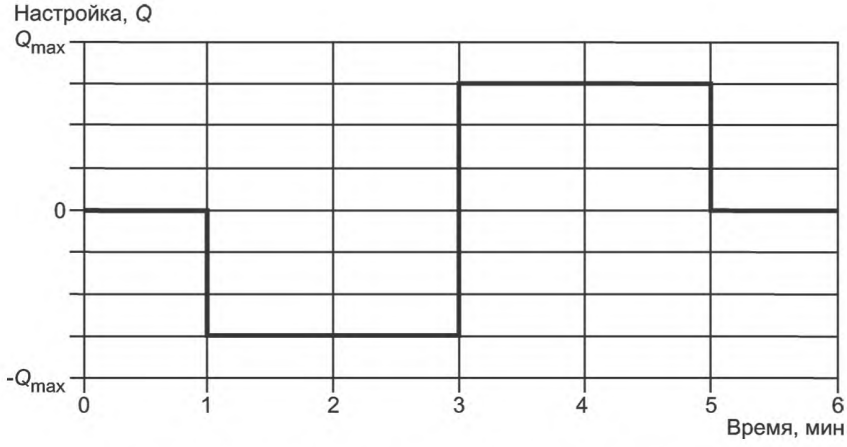


Рисунок 2 — Настройка уставки реактивной мощности

Примечание — Способность ВЭУ функционировать в режиме автоматического управления по напряжению тесно связана с ее способностью работать в режиме управления по заданным уставкам реактивной мощности. Автоматическое управление напряжением ветроэлектростанции, в частности, может быть достигнуто при помощи системы дискретного контроля и сбора данных, которая непрерывно обновляет уставки реактивной мощности отдельных ВЭУ для достижения требуемого значения напряжения.

6.8 Защита сети

Проверке подлежит также работоспособность системы сетевой защиты ВЭУ. Установленные уровни отключения и время отключения ВЭУ должны быть проверены путем определения фактического значения уровня отключения и времени отключения при повышенном и пониженном напряжении, а также при повышенной и пониженной частоте.

Уровень отключения представляет собой значения частоты или напряжения, вызывающие отключения ВЭУ.

Время отключения представляет собой период времени, начиная с момента возникновения пониженных или повышенных значений напряжения или частоты до момента отключения ВЭУ.

6.9 Время повторного подключения

Время повторного подключения ВЭУ после ее отключения из-за сбоя в сети должно быть представлено в виде таблицы на основе результатов испытаний. В таблице должны быть указаны значения интервалов времени повторного подключения после сбоя в сети в течение 10 с, 1 мин и 10 мин соответственно. Время повторного подключения определяют как интервал времени от момента восстановления напряжения сети на зажимах ВЭУ до момента начала выработки электроэнергии.

7 Методы измерений

7.1 Общие положения

В настоящем подразделе приведена общая информация о средствах измерений, обеспечении достоверности результатов измерений и условиях испытаний. В 7.2 — 7.9 перечислены виды измерений, выполнение которых необходимо для определения значений характеристик испытуемой ВЭУ, связанных с качеством электрической энергии, в том числе, технических характеристик ВЭУ (7.2), качества напряжения (7.3 — 7.4), воздействия провалов напряжения (7.5), регулирования мощности (7.6 — 7.7), защиты сети и повторного подключения (7.8 — 7.9).

Приведенные методы измерений обеспечивают достоверность полученных результатов измерений для одиночных ВЭУ, подключаемых к трехфазной электрической сети.

Основной целью измерений, в общем случае, является проверка характеристик ВЭУ, связанных с качеством электрической энергии, при всех режимах работы исследуемой ВЭУ, за исключением работы при скорости ветра свыше 15 м/с, для которой проведение измерений не требуется (см. примечание 1). Это объясняется тем, что выполнение измерений при скоростях ветра свыше 15 м/с приведет к значительному увеличению продолжительности испытаний, так как высокие скорости ветра случаются редко, причем не ожидается, что проведение данных измерений обеспечит более достоверные значения характеристик ВЭУ, связанных с качеством электрической энергии (см. примечание 2).

Примечания

1 Допускается исключить результаты измерений при скорости ветра более 15 м/с. В случае если они учитываются, исследуемый диапазон скоростей ветра должен быть указан в отчете об испытаниях.

2 Учет результатов измерений при скорости ветра более 15 м/с может улучшить точность определения коэффициента фликера и обеспечить большее значение максимальной измеренной мощности (средней за 0,2 с) для некоторых ВЭУ. Однако, для достижения оптимального соотношения между точностью измерений и стоимостью испытаний, проведение измерений при скорости ветра более 15 м/с нецелесообразно. Если измерения при скорости ветра более 15 м/с включены в отчет об испытаниях, достоверность результатов измерений по методам 8.2 для площадок с высокими скоростями ветра (см. 7.3.3, примечание 5) может быть улучшена.

7.1.1 Достоверность результатов измерений

Измеренные значения характеристик ВЭУ, связанных с качеством электрической энергии, относятся только к конкретной конфигурации исследуемой модели ВЭУ. Другие конфигурации ВЭУ, включая измененные настройки управления, приводящие к изменению характеристик ВЭУ, влияющих на качество электрической энергии, требуют отдельной оценки. Подобные оценки могут быть выполнены на основе моделирования.

Некоторые конструкции ВЭУ имеют встроенные трансформаторы. Измерения электрических характеристик должны быть проведены на зажимах ВЭУ. Изготовитель ВЭУ может разместить зажимы ВЭУ на стороне трансформатора с низким или высоким напряжением. Считают, что изменение одного выходного напряжения трансформатора на другое не влияет на качество электрической энергии ВЭУ. Поэтому проведение отдельной оценки не требуется, если выходное напряжение трансформатора будет изменено, за исключением того, что должны быть обновлены результаты измерений номинальных значений напряжения и тока.

Расположение зажимов ВЭУ, представляющих собой точки измерений, и конкретная конфигурация исследуемой ВЭУ, включая соответствующие настройки параметров управления, должны быть указаны в отчете об испытаниях в соответствии с приложением А.

Любые виды испытаний допускается проводить и их результаты указывать в отчете об испытаниях отдельно друг от друга, например, определение характеристик качества напряжения (7.3 — 7.4), регулирование мощности (7.6 — 7.7) и воздействие провалов напряжения (7.5).

7.1.2 Условия проведения измерений

Приведенные ниже условия измерений, являющиеся частью метода измерений, должны быть выполнены и отражены в отчете об испытаниях (см. примечание 1). Любые результаты измерений, полученные при несоответствии указанным условиям измерений, должны быть исключены.

ВЭУ должна быть подключена к электрической сети среднего напряжения через стандартный трансформатор, полная номинальная мощность которого равна или превышает полную номинальную мощность испытуемой ВЭУ.

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения *(см. ГОСТ Р 51317.4.7, пункт 3.3.1),* включая гармоники до 50-го порядка, должен быть менее 5 % измеренных и усредненных за период времени 10 мин данных на зажимах ВЭУ в период, когда ВЭУ не вырабатывает электрическую энергию.

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения может быть определен на основе отдельных измерений, предшествовавших проведению испытаний ВЭУ.

Отклонение частоты сети от номинального значения при измерении и усреднении за период времени 0,2 с не должно превышать ± 1%. Изменение частоты сети при измерении и усреднении за период времени 0,2 с должно быть менее 0,2 % номинальной частоты при изменении за интервал времени 0,2 с. Если известно, что частота сети имеет повышенную стабильность и удовлетворяет указанным выше требованиям, которые обычно выполняются в больших объединенных энергосистемах, то выполнение данных измерений не требуется. В других случаях при проведении испытаний ВЭУ следует измерять частоту сети.

Напряжение, измеренное на зажимах ВЭУ при усреднении за интервал времени 10 мин, не должно превышать ± 10 % номинального значения.

Коэффициент несимметрии напряжений n^0 прямой и обратной последовательности должен быть менее 2 %. Измерения коэффициентов несимметрии проводят на зажимах ВЭУ при усреднении за интервал времени 10 мин. Коэффициенты несимметрии напряжений определяют в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.30, подраздел 5.7*. Если известно, что коэффициенты несимметрии напряжений соответствуют вышеуказанным требованиям, в проведении измерений нет необходимости. В других случаях значения коэффициентов несимметрии напряжений следует измерять в процессе испытаний.

Условия окружающей обстановки должны соответствовать требованиям, установленным изготовителями ВЭУ и средств измерений. Как правило, нет необходимости в отдельных измерениях условий окружающей обстановки, однако, требуется, чтобы они были отражены в общих чертах как составная часть отчета об испытаниях, в соответствии с примечанием 2.

Испытания допускается проводить при любой интенсивности турбулентности и при любом соотношении короткого замыкания *(см. ГОСТ Р 51317.3.12, раздел 3)*. Значения средней интенсивности турбулентности, полной мощности короткого замыкания и фазового угла полного сопротивления электрической сети должны быть отражены в отчете об испытаниях. Интенсивность турбулентности должна быть установлена для всех секторов направления ветра на площадке с оценкой влияния аэродинамических препятствий и топографии местности или на основе измерений скорости ветра.

Примечания

1 Указанные выше условия проведения измерений необходимы для обеспечения надежных результатов испытаний, но их не следует считать условиями надежного подключения к электрической сети и функционирования ВЭУ.

2 Для ВЭУ некоторых конструкций максимальное значение измеренной мощности может зависеть от плотности воздуха. В результате, максимальная мощность, измеренная в соответствии с 7.6.1 на площадке с низкой плотностью воздуха, может быть меньше, чем на площадке с более высокой плотностью воздуха. Однако, степень влияния на неопределенность измерений значений плотности воздуха на площадке не оправдывает стоимость дополнительного оборудования и процедур, которые необходимы для учета плотности воздуха.

7.1.3 Средства измерений

Проведение измерений предполагает применение цифровой системы сбора данных с элементами, представленными на рисунке 3.

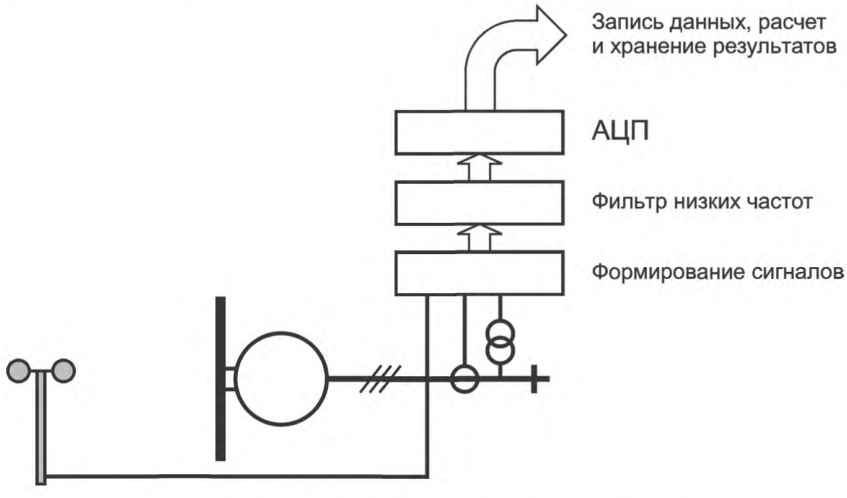


Рисунок 3 — Элементы системы измерений

Датчиками в системе измерений являются анемометр, преобразователи напряжения (трансформаторы) и преобразователи тока (трансформаторы). Устройство формирования сигналов предназначено для их подачи на фильтр низких частот, который необходим для исключения паразитного наложения спектров *(см. ГОСТ Р 51317.4.7)*. Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) должен иметь разрешение не менее 12 бит, чтобы соответствовать требуемой точности измерений. Требования к точности средств измерений — по таблице 2.

Таблица 2 — Технические требования к измерительному оборудованию

Оборудование	Точность измерения	Применяемый стандарт
Трансформаторы напряжения	Класс 1.0	*ГОСТ 1983*
Трансформаторы тока	Класс 1.0	*ГОСТ 7746*
Анемометр	± 0,5 м/с	**[2]**
Фильтр + АЦП + система сбора данных	1 % полной шкалы	**[3]**

Цифровая система сбора данных предназначена для записи, выполнения расчетов и хранения результатов в соответствии с приведенными ниже требованиями. Руководство по вычислению среднеквадратического значения напряжения, активной и реактивной мощности в системе измерений, как показано на рисунке 3, приведено в приложении С. Для измерения гармоник и частотных составляющих более высоких частот минимальная частота выборки должна быть не ниже 20 кГц на канал.

Частота выборки сигнала скорости ветра должна быть не менее 1 Гц.

Для измерения скорости ветра должен применяться анемометр, расположенный на уровне оси ветроколеса и находящийся вне зоны ветрового затенения ВЭУ и вне зоны аэродинамических следов. Расположение анемометра с наветренной стороны ВЭУ на расстоянии, равном 2,5 диаметрам ветроколеса, обычно дает хорошие результаты. Другим способом определения скорости ветра на оси ветроколеса может быть ее вычисление, основанное на измерениях скорости ветра на более низкой высоте, или коррекция скорости ветра, измеренной на гондоле, в сочетании с измерениями мощности при известной зависимости мощности от скорости ветра. В любом случае составляющая неопределенности измерений, обусловленная измерениями расположения анемометра, не должна превышать ± 1 м/с.

Примечание — Автоматизированные системы управления процессами регулирования и контроля вырабатываемой электрической энергии, основных и вспомогательных процессов ВЭУ являются составной частью общей системы мониторинга ветровой установки, играют важную роль в управлении ВЭУ и позволяют не только повысить качество обслуживания и уровень производственной безопасности, но и улучшить общую эффективность процесса выработки электрической энергии.

7.2 Технические характеристики ветроэлектрической установки

Технические характеристики ВЭУ в соответствии с 6.2 должны быть установлены на основании технической документации на ВЭУ, представленной изготовителем.

7.3 Колебания напряжения

7.3.1 Общие положения

В соответствии с 7.1.2 испытуемая ВЭУ должна быть подключена к электрической сети среднего напряжения (СН). Обычно электрические сети СН имеют помимо ВЭУ другие переменные нагрузки, которые могут вызывать значительные колебания напряжения на зажимах ВЭУ, где проводятся измерения при испытании. Кроме того, колебания напряжения, вызванные ВЭУ, зависят от характеристик электрической сети. Тем не менее, задача заключается в получении результатов измерений, которые не зависят от налагаемых сетью условий на испытательной площадке. Для выполнения этой задачи настоящий стандарт устанавливает метод измерений, основанный на проведении последовательных во времени непрерывных измерений тока и напряжения. Измерения проводят на зажимах ВЭУ и их результаты используют для моделирования колебаний напряжения в расчетной сети при отсутствии иных источников колебаний напряжения, кроме ВЭУ (см. примечание).

Описание применения расчетной электрической сети приведено в 7.3.2. Процедуры измерения колебаний напряжения проводят по отдельности для режима непрерывной работы (7.3.3) и для операций пере-

ключения (7.3.4). Необходимость данного разделения обусловлена тем, что колебания напряжения, вызванные ВЭУ в сети при непрерывной работе, имеют характер стахостического шума, а при операциях переключения ВЭУ имеет место некоторое число ограниченных по времени изменений напряжения.

Примечание — Хотя метод моделирования колебаний напряжения с использованием расчетной электрической сети устраняет прямое воздействие реальных колебаний напряжения в сети на измеренное значение дозы фликера, может иметь место воздействие на измеряемый ток ВЭУ колебаний напряжения в сети, вызванных другими источниками. Это, в свою очередь, может оказать влияние на моделированные колебания напряжения в расчетной электрической сети. Однако, вклад указанного эффекта является незначительным и не может служить основанием для изменения процедуры определения коэффициента фликера при непрерывной работе ВЭУ.

7.3.2 Расчетная электрическая сеть

Схема расчетной электрической сети представлена на рисунке 4.

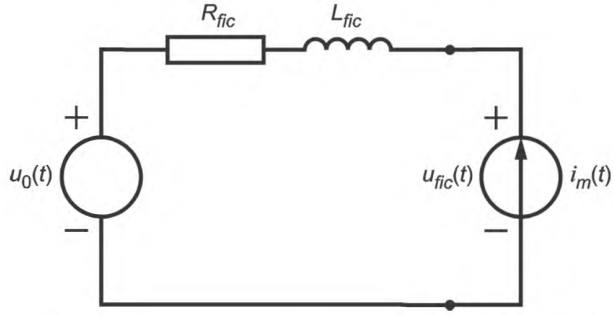


Рисунок 4 — Расчетная электрическая сеть для моделирования

Расчетная электрическая сеть представляет собой идеальный источник напряжения фаза-нейтраль мгновенным значением $u_0(t)$ и полное сопротивление сети, состоящее из активного сопротивления R_{fic}, последовательно соединенного с индуктивностью L_{fic}. ВЭУ представлена генератором тока, имеющим мгновенное измеренное значение линейного тока $i_m(t)$. Эта простая модель обеспечивает моделированное напряжение мгновенной величиной $u_{fic}(t)$, равное

$$u_{fic}(t) = u_0(t) + R_{fic} \cdot i_m(t) + L_{fic} \cdot \frac{di_m(t)}{dt}. \quad (1)$$

Идеальный источник напряжения $u_0(t)$ может быть создан разными способами. При обеспечении соответствия двум требованиям:

a) источник идеального напряжения не должен создавать каких-либо колебаний, т. е. доза фликера, вызываемого изменениями его напряжения, должна быть равна нулю;

b) напряжение $u_0(t)$ должно иметь тот же фазовый угол $\alpha_m(t)$, что и гармоника основной частоты измеренного напряжения. Это обеспечивает правильность угла фазового сдвига между $u_{fic}(t)$ и $i_m(t)$, при условии, что $|u_{fic}(t) - u_0(t)| << |u_0(t)|$.

Для соответствия этим требованиям напряжение $u_0(t)$ должно быть определено как

$$u_0(t) = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot U_n \cdot \sin[\alpha_m(t)], \quad (2)$$

где U_n — среднеквадратическое значение номинального напряжения электрической сети.

Фазовый угол основной гармоники измеренного напряжения может быть определен по формуле

$$\alpha_m(t) = 2\pi \cdot \int_0^t f(t)dt + \alpha_0, \quad (3)$$

где $f(t)$ — частота, которая может изменяться во времени;

t — время от момента начала серии измерений;

α_0 — фазовый угол при $t = 0$.

R_{fic} и L_{fic} следует выбирать для получения подходящего фазового угла полного сопротивления сети ψ_k, применяя следующую формулу

$$tg(\psi_k) = \frac{2\pi \cdot f_g \cdot L_{fic}}{R_{fic}} = \frac{X_{fic}}{R_{fic}}, \quad (4)$$

где f_g — номинальная частота электрической сети (50 или 60 Гц).

Примечание — В Российской Федерации принята номинальная частота сети 50 Гц.

Полную мощность трехфазного короткого замыкания в расчетной электрической сети определяют по следующей формуле

$$S_{k,fic} = \frac{U_n^2}{\sqrt{R_{fic}^2 + X_{fic}^2}}. \quad (5)$$

Для применения алгоритма определения фликера или измерительных приборов, согласующихся с диапазоном измерений, установленным в *ГОСТ Р 51317.4.15*, следует использовать правильно подобранное соотношение $S_{k,fic}/S_n$ для отношения короткого замыкания. Назначение метода измерений, установленного в *ГОСТ Р 51317.4.15*, состоит в том, чтобы определить, вызывает ли конкретное колебание напряжения явление фликера. Поэтому метод, установленный в *ГОСТ Р 51317.4.15*, не обеспечивает высокой точности при малых колебаниях напряжения. Увеличенные значения колебаний напряжения могут быть получены при уменьшении значения отношения короткого замыкания. С другой стороны, если отношение короткого замыкания мало, среднеквадратическое значение $u_{fic}(t)$ будет значительно отличаться от среднеквадратического значения $u_0(t)$, что окажет влияние на относительные изменения напряжения, так как абсолютные изменения будут нормированы с применением другого среднего значения. Для получения моделированных колебаний напряжения, соответствующих диапазону измерений фликерметра, следует выбрать значение отношения короткого замыкания $S_{k,fic}/S_n$, равное 20 — 50. Для получения лучшего разрешения следует использовать 6 400 классификационных уровней вместо 64 уровней, по ГОСТ Р 51317.4.15. Точность расчета значений длительной дозы фликера P_{st} должна быть менее 5%.

7.3.3 Непрерывная работа

Коэффициенты дозы фликера $c(\psi_k, v_a)$ определяют в соответствии с 6.3.2 на основе измерений и моделирования.

В настоящем пункте установлена процедура определения $c(\psi_k, v_a)$, в приложении В приведена иллюстрирующая схема.

Для определения $c(\psi_k, v_a)$ применяют следующие правила измерений:

a) на зажимах ВЭУ измеряют три мгновенные значения линейного тока и три мгновенные значения напряжения между фазными и нейтральными проводниками (см. также примечание 1);

b) указанные измерения проводят в течение не менее пятнадцати временных интервалов продолжительностью 10 мин каждый. В результате должны быть получены 15 серий мгновенных значений напряжения и тока (по пять испытаний на каждую из трех фаз). Измерения проводят для различных интервалов скоростей ветра (разница граничных значений скорости ветра 1 м/с) в диапазоне от минимальной рабочей скорости до 15 м/с. Скорость ветра измеряют при этом с усреднением за 10 мин;

c) применяют методы измерения скорости ветра и требования к средствам измерения по 7.1.3;

d) при проведении измерений операции переключения должны быть исключены, кроме переключения конденсаторов, которые могут иметь место при непрерывной работе ВЭУ. Значения дозы фликера, возникающего в процессе испытаний, должны быть отражены в отчете об испытаниях. Измерение фликера проводят на зажимах ВЭУ в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.15* (см. также примечание к 7.3.1).

Измерения проводят в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3, с применением анемометра и трансформаторов напряжения и тока с характеристиками по таблице 2. Граничная часть средств измерений напряжения и тока должна быть не менее 400 Гц (см. также примечание 2).

Результаты измерений, полученные при работе ВЭУ, должны быть обработаны для определения коэффициента фликера как функции фазового угла полного сопротивления сети и распределения скоростей ветра. Обработку результатов измерений рекомендуется повторить для всех фазовых углов полного сопротивления сети и распределений скоростей ветра, указанных в 6.3.2 в соответствии с приведенными ниже правилами.

Во-первых, определяют коэффициент дозы фликера для каждого 10-минутного набора временных рядов напряжения и тока. Для этого проводят действие в соответствии с перечислениями 1) — 3), как указано ниже:

1) измеренные данные временных рядов подставляют в уравнение (1) для получения временного ряда $u_{fic}(t)$;

2) временные ряды $u_{fic}(t)$ вводят в алгоритм определения дозы фликера, в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.15* для получения одного значения длительной дозы фликера $P_{st,fic}$ в расчетной электрической сети для каждого 10-минутного ряда измерений;

3) определяют коэффициент дозы фликера для каждого рассчитанного значения дозы фликера, применяя формулу

$$c(\psi_k) = P_{st,fic} \cdot \frac{S_{k,fic}}{S_n}, \tag{6}$$

где S_n — номинальная полная мощность ВЭУ;

$S_{k,fic}$ — полная мощность короткого замыкания расчетной электрической сети (см. также примечание 3).

Во-вторых, для каждого интервала скоростей ветра определяют весовой коэффициент для приведения полученной частоты возникновения коэффициентов дозы фликера в соответствие с принятым распределением скорости ветра. Для этого проводят действия по перечислениям 4) — 6), как указано ниже;

4) в соответствии с 6.3.2 частоту появления скоростей ветра в i-м интервале скоростей $f_{y,i}$ определяют в соответствии с распределением Релея

$$f_{y,i} = \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{v_i - 0{,}5}{v_a}\right)^2\right) - \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{v_i + 0{,}5}{v_a}\right)^2\right), \tag{7}$$

где v_i — значение скорости ветра, соответствующее средней точке i-го интервала;

v_a — расчетная среднегодовая скорость ветра;

5) фактическую частоту появления измеренных коэффициентов дозы фликера в i-м интервале скоростей ветра $f_{m,i}$ определяют по формуле

$$f_{m,i} = \frac{N_{m,i}}{N_m}, \tag{8}$$

где $N_{m,i}$ — число измеренных значений коэффициента дозы фликера в i-м интервале скорости ветра;

N_m — общее число измеренных значений коэффициента дозы фликера;

6) определяют весовой коэффициент для каждого интервала скорости ветра в диапазоне скоростей ветра от v_{cut-in} и 15 м/с (при разнице граничных значений скорости ветра 1 м/с) подстановкой рассчитанных значений $f_{y,i}$ и $f_{m,i}$ в формулу

$$w_i = \frac{f_{y,i}}{f_{m,i}}. \tag{9}$$

Определяют весовое интегральное распределение измеренных значений коэффициента дозы фликера и коэффициент дозы фликера $c(\psi_k, v_a)$ как 99-й процентиль данного распределения (см. примечания 4 и 5) по правилам, указанным в перечислениях 7) — 9), приведенным ниже;

7) определяют взвешенное интегральное распределение $Pr(c<x)$ значений коэффициента дозы фликера по формуле

$$Pr(c < x) = \frac{\sum_{i=1}^{N_{bin}} w_i \cdot N_{m,i,c<x}}{\sum_{i=1}^{N_{bin}} w_i \cdot N_{m,i}}, \tag{10}$$

где $N_{m,i,c<x}$ — число значений коэффициента дозы фликера, меньших или равных по величине x в i-м интервале скоростей ветра;

N_{bin} — общее число интервалов скоростей ветра;

8) определяют коэффициент дозы фликера как 99-й процентиль взвешенного интегрального распределения значений коэффициента дозы фликера.

Действия по перечислениям 4) — 8) иллюстрированы в приложении В, подраздел В.3.

Длительную дозу фликера рассчитывают как значение кубического корня из усредненной суммы кубов 12 последовательных значений кратковременной дозы фликера. Учитывая, что фликер, вызываемый ВЭУ, является функцией скорости ветра, и что характеристики ветрового потока с большой вероятностью могут сохранять свое значение в течение 2 ч, весьма вероятно, что 12 последовательных кратковременных значений дозы фликера будут равными. Следовательно, для ВЭУ коэффициент дозы фликера при длительной работе будет равен значению коэффициента, соответствующего кратковременному значению.

Примечания

1 Если не представляется возможным измерить напряжения между фазными и нейтральными проводниками, следует измерить линейные напряжения и рассчитать напряжения между фазными и нейтральными проводниками на основе измеренных линейных напряжений по формулам:

$$u_1 = \frac{u_{12} - u_{31}}{3},$$

$$u_2 = \frac{u_{23} - u_{12}}{3},$$

$$u_3 = \frac{u_{31} - u_{23}}{3},$$

где u_1, u_2 и u_3 — мгновенные напряжения между фазными и нейтральными проводниками;

u_{12}, u_{31} и u_{23} — мгновенные линейные напряжения.

2 Алгоритм измерения дозы фликера, приведенный в *ГОСТ Р 51317.4.15*, основан на определении среднеквадратического значения $u_{flic}(t)$, а затем исключении колебаний с частотой свыше 35 Гц. Однако в настоящем стандарте для измерения дозы фликера при непрерывной работе установлена минимальная частота исключения составляющих 400 Гц, соответствующая минимальной частоте выборки 800 Гц. Результаты обработки полученных при измерениях данных показали, что частота выборки 800 Гц обеспечивает получение согласующихся результатов. Более низкая частота выборки уменьшает точность измерения фазового угла основной гармоники измеренного напряжения $\alpha_m(t)$.

3 Пояснения к формуле, определяющей коэффициент дозы фликера, приведены в приложении В (В.4.1).

4 Применение 99-го процентиля обусловлено тем, что предельно допустимая доза фликера обычно соотносится с этим процентилем.

5 В соответствии с 6.3.2 коэффициент дозы фликера $c(\psi_k, v_a)$ должен быть определен для значений v_a = 6 м/с, 7,5 м/с, 8,5 м/с и 10 м/с соответственно. Измерения, в соответствии с требованиями настоящего раздела, проводят при значениях скорости ветра, не превышающей 15 м/с. Приняв распределение скоростей ветра по Рэлею, можно определить, что скорость ветра, равная 15 м/с, соответствует 99-му процентилю для v_a = 6 м/с, и 96-му, 91-му и 83-му процентилям для v_a = 7,5 м/с, 8,5 м/с и 10 м/с соответственно. Хотя $c(\psi_k, v_a)$ определяют согласно настоящему разделу как 99-й процентиль набора данных, он также может быть представлен более низкими процентилями для распределений скоростей ветра по Рэлею при = 7,5 м/с, 8,5 м/с и 10 м/с, что поясняется в приложении В, подраздел В.3. Считают, что неопределенность измерений фактических процентилей не требует выполнения измерений при более высоких скоростях ветра для увеличения набора данных, обеспечивающих 99-й процентиль также для v_a = 7,5 м/с, 8,5 м/с и 10 м/с, так как это приведет к значительному увеличению продолжительности требуемого периода испытаний. Однако допускается при применении требований настоящего стандарта проводить измерения для скоростей ветра свыше 15 м/с с целью улучшения точности определения $c(\psi_k, v_a)$ для v_a > 6 м/с.

7.3.4 Операции переключения

Для каждого вида операций переключения, указанных в 6.3.3, должно быть установлено максимальное число операций переключения N_{10m} и N_{120m} на основе документации, представленной изготовителем. Если изготовитель ВЭУ не представил эти данные или не может обеспечить достаточность технических характеристик системы управления ВЭУ для подтверждения предоставленных данных, рекомендуется принять следующие правила:

a) пуск ВЭУ при минимальной рабочей скорости: N_{10m} = 10 и N_{120m} = 120;

b) пуск ВЭУ при номинальной скорости и выше: N_{10m} = 1 и N_{120m} = 12;

c) худший случай переключения между генераторами: N_{10m} = 10 и N_{120m} = 120.

Для определения коэффициента искажения напряжения $k_u(\psi_k)$ и шагового коэффициента дозы фликера $k_f(\psi_k)$ проводят измерения, последующее моделирование и вычисления для каждого вида операций переключения, указанных в 6.3.3.

В настоящем подразделе изложена методика определения $k_u(\psi_k)$ и $k_f(\psi_k)$, в приложении В, подраздел В.2 приведены пояснения.

Поскольку требования 6.3.3 a) и 6.3.3 b) предусматривают проведение операций переключения при конкретной скорости ветра, задача испытателя состоит в определении условий переключения, соответствующих 6.3.3 c). Худший вариант переключения может быть выявлен на основе оценки конструкции ВЭУ. Если по результатам изучения конструкции ВЭУ не удается установить худший вариант, допускается провести измерения в соответствии с 6.3.3 c) (см. также примечание 1 в 6.3.3).

Для определения коэффициента искажения напряжения $k_u(\psi_k)$ и шагового коэффициента дозы фликера $k_f(\psi_k)$ применяют следующие правила измерений:

1) на зажимах ВЭУ измеряют три мгновенных значения линейного тока и три мгновенных значения линейного напряжения;

2) измерения проводят в течение периода времени T_p, достаточно длительного, чтобы обеспечить завершение переходного процесса операции переключения, и, вместе с тем, ограниченного — для исключения возможных колебаний мощности, вызванных турбулентностью;

3) процедуру измерений повторяют пять раз, чтобы обеспечить репрезентативность результатов измерений применительно к нормальным усредненным условиям;

4) скорость ветра измеряют в соответствии с 7.1.3. Скорость ветра, усредненная за период времени 1 мин, должна при операции переключения быть в пределах ± 2 м/с от требуемой скорости ветра.

Измерения проводят в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3, с использованием анемометра, трансформаторов напряжения и тока с характеристиками, установленными в таблице 2. Частота среза при измерении напряжения и тока должна быть не менее 1500 Гц (см. примечание 1). Для ВЭУ с устройством плавного пуска или иным средством эффективного ограничения пускового тока рекомендуется настроить трансформаторы на ток, превышающий номинальный ток в 2—4 раза. Для ВЭУ без ограничений пускового тока рекомендуется трансформаторы тока настроить на токи, превышающие номинальный ток ВЭУ в 10—20 раз.

Результаты измерений должны быть обработаны для определения коэффициента искажения напряжения и шагового коэффициента дозы фликера, что выполняют как указано ниже.

1) Измеренные временные ряды объединяют для получения временных рядов напряжения $u_{fic}(t)$.

2) Моделированные временные ряды напряжения $u_{fic}(t)$ следует ввести в алгоритм вычисления фликера в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.15* для получения одного значения кратковременной дозы фликера $P_{st,fic}$ в расчетной электрической сети для каждого временного ряда $u_{fic}(t)$. Для каждого случая будет получено 15 значений $P_{st,fic}$, т. е. по пять результатов испытаний для каждой из трех фаз.

3) Вычисляют шаговый коэффициент дозы фликера $k_f(\psi_k)$ (см. также примечания 2 и 3) по формуле

$$k_f(\psi_k) = \frac{1}{130}\frac{S_{k,fic}}{S_n} P_{st,fic}\, T_p^{0,31}. \qquad (11)$$

4) Вычисляют коэффициент искажения напряжения $k_u(\psi_k)$ по формуле

$$k_u(\psi_k) = \sqrt{3}\,\frac{U_{fic,\max} - U_{fic,\min}}{U_n}\,\frac{S_{k,fic}}{S_n}, \qquad (12)$$

где $U_{fic,\min}$ — минимальное среднеквадратическое значение напряжения в расчетной электрической сети за один период операции переключения;

$U_{fic,\max}$ — максимальное среднеквадратическое значение напряжения в расчетной электрической сети за один период операции переключения (см. также примечание 4).

5) Для шагового коэффициента дозы фликера и коэффициента искажения напряжения определяют их среднее значение на основе 15 испытаний.

Примечания

1 Для обеспечения правильного учета гармоник, неустойчивых из-за функционирования устройств плавного пуска, при определении коэффициента искажения напряжения и шагового коэффициента дозы фликера частота среза должна быть не менее 1500 Гц (см. также примечание 2 в 7.3.3).

2 Формула для определения шагового коэффициента дозы фликера приведена в *ГОСТ Р 51317.3.3*, пояснения приведены в приложении В, подраздел В.4.

3 Дозу фликера $P_{st,fic}$ определяют за период времени T_p.

4 Пояснения к формуле, определяющей коэффициент искажения напряжения, приведены в приложении В, подраздел В.4.

7.4 Гармоники тока, интергармоники и составляющие более высоких частот

Характеристики создаваемых ВЭУ гармоник тока, интергармоник и составляющих более высоких частот при непрерывной работе должны быть измерены и отражены в отчете об испытаниях в соответствии с 6.4.

Результаты измерений должны основываться на наблюдениях, продолжительность которых составляет 10 мин для каждого интервала активной мощности (средними точками интервалов являются 0, 10, 20, ..., 100 % P_n, как указано в 6.4) и соответствовать условиям минимальных возмущений, вызванных электрической сетью, к которой подключена ВЭУ. Метод измерения должен соответствовать условиям работы ВЭУ с учетом того, что значения создаваемых гармоник тока будут изменяться с периодичностью несколько секунд.

Результаты измерений, на которые оказали влияние помехи, действующие в электрической сети, исключают.

Для каждого из 10 %-ных интервалов мощности должны быть получены не менее 9 временных рядов измерений длительностью 10 мин, содержащих результаты измерений мгновенных значений тока (по три измерения на каждую из трех фаз).

Измерения и группирование спектральных компонентов должны быть проведены в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.7*. Необходимость группирования результатов измерений по *ГОСТ Р 51317.4.7* обусловлена тем, что измерения проводят при флуктуирующем источнике. Применяют средства измерения класса точности I в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.7*.

При проведении измерений в энергосистемах частотой 50 Гц основной интервал времени измерения должен быть 10 периодов частоты сети, в энергосистемах частотой 60 Гц — 12 периодов. Длительность измерительного окна должна быть указана в отчете об испытаниях (см. приложение А).

Гармоники тока любого порядка, составляющие менее 0,1 % I_n, не учитывают.

Для измерения значений тока применяют дискретное преобразование Фурье (ДПФ) с прямоугольными весовыми функциями. Специальные весовые функции (Хеннинга, Хэмминга) не применяют. Значения активной мощности должны быть определены при той же длительности измерительного окна, что и гармоники тока (см. *ГОСТ Р 51317.4.7*).

Гармонические составляющие тока до 50-го порядка группируют для получения гармонических подгрупп в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.7, подраздел 5.6* (см. примечание).

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока (*THC*) вычисляют по формуле

$$THC = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}}{I_n} \cdot 100, \qquad (13)$$

где I_h — среднеквадратическое значение гармонической подгруппы тока порядка h;

I_n — номинальное значение тока ВЭУ.

Интергармоники тока частотой ниже 2 кГц должны быть сгруппированы для получения интергармонических подгрупп в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.7, приложение А, формула А.2*.

Частотные составляющие тока более высоких частот (частотой от 2 до 9 кГц) измеряют и группируют в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.7, приложение В, формула В.1* (результаты дискретного преобразования Фурье группируют в участках частот 200 Гц).

В отчете об испытаниях для каждого 10-минутного промежутка времени наблюдений и каждого 10 %-ного интервала активной мощности ВЭУ указывают результаты измерений, усредненные на интервале времени 10 мин в каждой полосе частот, включая гармонические подгруппы, интергармонические подгруппы и состовляющие более высоких частот.

Гармоники напряжения, измеренные в процессе испытания, также должны быть указаны в отчете об испытаниях. Гармоники напряжения на зажимах ВЭУ измеряют в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.7*. В отчете об испытаниях должны быть отражены средние за 10 мин значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (см. *ГОСТ Р 51317.4.7*).

Примечание — Методы оценки гармонических подгрупп напряжения приведены в *ГОСТ Р 51317.4.7, подраздел 5.6.*

7.5 Воздействие провалов напряжения

Реакции ВЭУ на кратковременные провалы напряжения в электрической сети, указанные в таблице 1, определяют и отражают в отчете об испытаниях в соответствии с требованиями 6.5. Установленные реакции должны включать в себя измеренные ряды значений активной и реактивной мощности, активного и реактивного токов и напряжения на зажимах ВЭУ в промежутке времени от момента, непосредственно предшествующего началу провала напряжения, до момента прекращения его воздействия на ВЭУ. При этом рабочий режим ВЭУ и скорость ветра с усреднением на интервале времени 10 мин должны быть отражены в отчете об испытаниях.

Значения активной и реактивной мощности, активного и реактивного токов, а также напряжения должны быть приведены для каждого периода частоты электрической сети (50 или 60 Гц) и измерены как основные гармоники прямой последовательности в соответствии с приложением С.

Испытание следует проводить для ВЭУ, работающей в двух диапазонах мощностей: a) от 0,1 P_n до 0,3 P_n; b) более 0,9 P_n.

Испытания проводят в соответствии со схемой, представленной на рисунке 5. Провалы напряжения создаются имитатором коротких замыканий, который соединяет два или три фазных провода с землей через сопротивления или соединяет два или три фазных провода вместе через сопротивления.

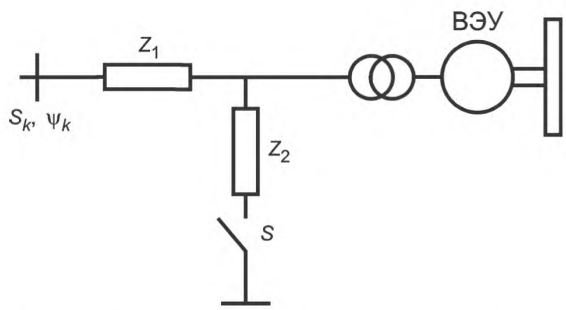


Рисунок 5 — Система с имитатором коротких замыканий для проверки реакции ВЭУ на кратковременные провалы напряжения

Полное сопротивление Z_1 предназначено для ограничения воздействия коротких замыканий на электрическую сеть, к которой подключается ВЭУ. Значение сопротивления должно выбираться так, чтобы при выполнении испытаний с провалом напряжения не возникали недопустимые ситуации в электрической сети, к которой подключено ВЭУ, и, в то же время, чтобы оно не оказывало существенного влияния на переходный процесс в ВЭУ. До проведения испытаний и после их завершения сопротивление Z_1 замыкается накоротко.

Провалы напряжения создаются при замыкании ключа S. Значение Z_2 должно выбираться так, чтобы получить провалы напряжения, указанные в таблице 1, при отключении ВЭУ от электрической сети.

Значения сопротивлений Z_1 и Z_2, которые используются при испытаниях, должны быть указаны в отчете об испытаниях в разделе, содержащем описание применяемого испытательного оборудования.

При применении ключа S должен быть обеспечен точный контроль времени подключения и отключения Z_2 для всех трех или двух фазных проводников. В качестве ключа может использоваться механический прерыватель или силовое электронное устройство.

На значения напряжения, указанные в таблице 1, может оказать влияние работа ВЭУ, однако в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 5, требуется, чтобы ВЭУ находилась в отключенном состоянии. Форма провала напряжения при отключенной ВЭУ должна соответствовать допустимым отклонениям формы, установленным на рисунке 6. Длительность провала напряжения измеряют от момента замыкания ключа S до его размыкания. Допустимые временные отклонения формы провала напряжения, представленные на рисунке 6, учитывают возможные задержки в работе ключа S и то, что напряжение прямой последовательности не падает и не нарастает мгновенно, а изменяется постепенно.

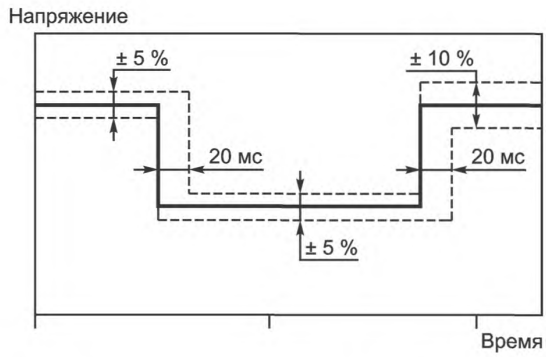


Рисунок 6 — Допустимые отклонения формы провала напряжения

Примечание — Испытания ВЭУ проводят в двух диапазонах мощностей: a) от 0,1 P_n до 0,3 P_n (для определения реакции ВЭУ при наиболее вероятном режиме работы в зависимости от характеристик ветра); b) более 0,9 P_n (для определения реакции ВЭУ при более жестком режиме).

7.6 Активная мощность

7.6.1 Максимальная измеренная мощность

Значения максимальной измеренной мощности должны быть определены и отражены в отчете об испытаниях в соответствии с 6.6.1 в виде значений P_{600} (усреднение за 600 с), P_{60} (усреднение за 60 с) и $P_{0,2}$ (усреднение за 0,2 с). Порядок измерений указан ниже.

Измерения проводят только в процессе непрерывной работы ВЭУ.

Активную мощность измеряют на зажимах ВЭУ.

Измерения производят так, чтобы были получены не менее пяти временных рядов значений мощности на интервале времени 10 мин для каждого интервала скоростей ветра (с разницей граничных значений 1 м/с) между минимальной рабочей скоростью и 15 м/с.

Скорость ветра измеряют как среднее значение с усреднением за 10 мин в соответствии с 7.1.3.

Измеренные значения мощности усредняют за 0,2 с и 60 с с помощью блока вычисления средних значений.

Значение $P_{0,2}$ определяют как наибольшее значение из числа записанных и усредненных за интервал времени 0,2 с значений за весь период измерений.

Значение P_{60} определяют как наибольшее значение из числа записанных и усредненных за интервал времени 60 с значений за весь период измерений.

Значение P_{600} определяют как наибольшее значение из числа записанных и усредненных за интервал времени 600 с значений за весь период измерений.

Измерения проводят в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3, с применением анемометра, трансформаторов напряжения и тока с характеристиками по таблице 2.

Следует учитывать, что диапазон измерений тока может в два раза превышать номинальный ток ВЭУ.

7.6.2 Ограничение изменения мощности

Ограничение изменения мощности должно быть проверено и отражено в отчете об испытаниях в соответствии с 6.6.2. Для этого применяют последовательность действий, как указано ниже.

Проводят пуск ВЭУ в работу из состояния покоя.

Ограничение скорости изменения мощности в минуту должно быть установлено на уровне 10 % номинальной мощности.

Измерения проводят в течение 10 мин с момента подключения ВЭУ к электрической сети.

Располагаемая активная выходная мощность ВЭУ в процессе всего испытания должна составлять не менее 50 % номинальной мощности.

Активную мощность измеряют на зажимах ВЭУ.

По результатам испытания должны быть получены средние значения за интервал времени 0,2 с, которые должны быть отражены в отчете об испытаниях.

Измерения проводят в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3, с применением анемометра, трансформаторов напряжения и тока с характеристиками по таблице 2. Скорость ветра должна быть представлена за весь период испытаний в виде диаграммы временных рядов с интервалами 1 мин.

Данные о располагаемой активной мощности определяют с использованием системы управления ВЭУ. Если система управления ВЭУ не выполняет данную операцию, могут быть использованы приближенные значения, вычисленные на основе измеренной скорости ветра и графика вырабатываемой мощности ВЭУ.

7.6.3 Управление по заданным уставкам

В отчете об испытаниях в соответствии с требованиями 6.3.3 должен быть отражен процесс управления активной мощностью по заданным уставкам. Порядок испытаний указан ниже.

Испытания проводят в течение 10 мин.

Функция ограничения скорости измерения мощности в процессе испытания должна быть отключена для получения максимально быстрой возможной реакции.

Уставки активной мощности должны быть настроены с понижением значений мощности от 100 до 20 % с шагом 20 % (по 2 мин работы при каждом значении уровня) в соответствии с рисунком 1.

Располагаемая активная выходная мощность должна составлять не менее 90 % номинальной мощности в процессе всего испытания.

Активную мощность измеряют на зажимах ВЭУ.

По результатам испытания должны быть получены средние значения за интервал времени 0,2 с, которые должны быть отражены в отчете об испытаниях.

Измерения проводят в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3, с применением анемометра, трансформаторов напряжения и тока с характеристиками по таблице 2. Скорость ветра должна быть представлена за весь период испытаний в виде диаграммы временных рядов с интервалами 1 мин.

Данные о располагаемой активной мощности определяют с использованием системы управления ВЭУ. Если система управления ВЭУ не выполняет данную операцию, могут быть использованы приближенные значения, вычисленные на основе измеренной скорости ветра и графика вырабатываемой мощности ВЭУ.

7.7 Реактивная мощность

7.7.1 Максимально допустимая реактивная мощность

В отчете об испытаниях должны быть отражены максимальные значения индуктивной и емкостной реактивной мощности по измерениям в соответствии с 6.7.1.

Для измерения максимального значения индуктивной реактивной мощности ВЭУ должна быть установлена в рабочий режим, обеспечивающий максимальную индуктивную реактивную мощность во всем диапазоне вырабатываемой мощности.

Для измерения максимального значения емкостной реактивной мощности ВЭУ должна быть установлена в рабочий режим, обеспечивающий максимальную емкостную реактивную мощность во всем диапазоне вырабатываемой мощности.

Для каждого из этих двух заданных режимов должна быть применена последовательность действий, указанная ниже.

Сбор результатов измерений проводят в процессе непрерывной работы ВЭУ.

Активную и реактивную мощности измеряют на зажимах ВЭУ.

Измерения проводят так, чтобы получить не менее тридцати временных рядов значений активной и реактивной мощности в интервале времени 1 мин для каждого 10%-ного интервала мощности.

Данные выборки измеренных значений на интервалах времени 1 мин преобразуют в значение, усредненное на интервале 1 мин с помощью блока вычисления средних значений.

Средние за 1 мин значения реактивной мощности должны быть распределены так, чтобы реактивная мощность была указана в таблице в виде средних значений для интервалов 0, 10, 90, … , 100 % номинальной мощности (под значениями 0, 10, 90, … , 100 % понимают средние точки интервалов активной мощности).

Измерения проводят в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3, с применением трансформаторов напряжения и тока с характеристиками по таблице 2.

7.7.2 Управление по заданным уставкам

Управление реактивной мощностью по заданным значениям уставки должно быть проверено и отражено в отчете об испытаниях в соответствии с 6.7.2.

При измерениях с уставкой реактивной мощности, равной нулю, проводят действия, как указано ниже.

Сбор результатов измерений проводят в процессе непрерывной работы ВЭУ.

Активную и реактивную мощности измеряют на зажимах ВЭУ.

Измерения проводят так, чтобы получить не менее тридцати временных рядов значений активной и реактивной мощности в интервале времени 1 мин для каждого 10 %-ного интервала мощности.

Данные выборки измеренных значений на интервалах времени 1 мин преобразуют в значение за 1 мин с помощью блока вычисления средних значений.

Средние за 1 мин значения реактивной мощности должны быть распределены так, чтобы реактивная мощности была указана в таблице в виде средних значений для интервалов 0, 10, 90, ... , 100 % номинальной мощности (под значениями 0, 10, 90, ... , 100 % понимают средние точки интервалов активной мощности).

При измерениях с пошаговым изменением уставки реактивной мощности проводят действия, как указано ниже.

Сбор результатов измерений проводят в процессе непрерывной работы ВЭУ.

Активную и реактивную мощности измеряют на зажимах ВЭУ.

Активная выходная мощность должна составлять приблизительно 50 % номинальной мощности.

Данные выборки реактивной мощности должны представлять собой средние значения за 0,2 с.

Уставки реактивной мощности должны изменяться в соответствии с рисунком 2.

Результаты измерений реактивной мощности должны быть представлены в виде диаграммы данных, полученных на интервале времени 0,2 с с указанием значений уставок реактивной мощности.

Измерения проводят в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3 с применением трансформаторов напряжения и тока с характеристиками по таблице 2.

7.8 Защита электрической сети

Уровни защиты и время отключения ВЭУ определяют при повышенном и пониженном напряжении, а также при повышенной и пониженной частоте. Для этого используют отдельный источник трехфазного напряжения с переменным напряжением и частотой, который включают в систему управления ВЭУ. Установки уровней защиты и времени отключения должны быть точно определены на блоке управления ВЭУ. Исходя из требований безопасности измерения проводят при неработающем генераторе ВЭУ, что обеспечивает защиту сети подключения.

Для проверки уровней защиты проводят действия, как указано ниже.

Уровень защиты от понижения напряжения U_{under}

Напряжение отдельного трехфазного источника напряжения должно уменьшаться во всех трех фазах от значения, соответствующего 100 % номинального напряжения, при номинальной частоте с шагом 1 % номинального напряжения до момента отключения ВЭУ. Продолжительность каждого шага — не менее 20 с.

Уровень защиты от повышения напряжения U_{over}

Напряжение отдельного трехфазного источника напряжения должно возрастать во всех трех фазах от значения, соответствующего 100 % номинального напряжения, при номинальной частоте с шагом 1 % номинального напряжения до момента отключения ВЭУ. Продолжительность каждого шага — не менее 20 с.

Уровень защиты от понижения частоты f_{under}

Частота отдельного трехфазного источника напряжения должна уменьшаться от значения 100 % номинальной частоты при номинальном напряжении с шагом 0,1 Гц до момента отключения ВЭУ. Продолжительность каждого шага — не менее 20 с.

Уровень защиты от повышения частоты f_{over}

Частота отдельного трехфазного источника напряжения должна возрастать от значения 100 % номинальной частоты при номинальном напряжении с шагом 0,1 Гц до момента отключения ВЭУ. Продолжительность каждого шага — не менее 20 с.

Для проверки времени отключения проводят действия, указанные ниже.

Под временем отключения понимают период времени от момента начала броска напряжения до момента отключения ВЭУ.

Время отключения ВЭУ следует определить из технической документации на ВЭУ или путем измерения времени отключения.

Понижение напряжения

В прерыватель цепи ВЭУ от отдельного источника напряжения подают провал напряжения от номинального значения до значения U_{under} — 5 % номинального напряжения.

Повышение напряжения

В прерыватель цепи ВЭУ от отдельного источника напряжения подают бросок напряжения от номинального значения до значения U_{over} + 5 % номинального напряжения.

Повышение частоты

В прерыватель цепи ВЭУ от отдельного источника напряжения подают повышение частоты от номинального значения до значения f_{over} + 1 Гц.

Понижение частоты

В прерыватель цепи ВЭУ от отдельного источника напряжения подают понижение частоты от номинального значения до значения f_{under} – 1 Гц.

7.9 Время повторного подключения

Время повторного подключения ВЭУ должно быть проверено в соответствии с 6.9. Для проверки проводят действия, указанные ниже.

Испытание проводят по одному разу для каждого из указанных в 6.9 трех видов отключения от электрической сети.

Во время повторного подключения средняя скорость ветра должна быть выше 10 м/с.

При испытании ВЭУ отключают от электрической сети при помощи размыкания имеющегося прерывателя. В качестве прерывателя, как правило, применяется прерыватель среднего напряжения, соединяющий ВЭУ с системой сбора мощности. Размыкание прерывателя должно быть выполнено при нахождении ВЭУ в рабочем режиме. Повторное подключение ВЭУ к сети следует проводить замыканием прерывателя.

Под временем отключения понимают время между размыканием и замыканием прерывателя. Прерыватель обычно управляется вручную, и испытатель должен убедиться в том, что время отключения от сети соответствует указанным значениям с отклонением ± 1 с.

Активную мощность измеряют на зажимах ВЭУ.

Напряжение измеряют на зажимах ВЭУ.

Результаты испытания должны быть отражены в отчете об испытаниях представлением средних значений измеренной мощности и напряжения за интервал времени 0,2 с. Время повторного подключения определяют на основе измеренных значений мощности и напряжения от момента, когда напряжение возвратилось к своему нормальному значению (в диапазоне от 0,9 до 1,1 U), до момента, когда ВЭУ возобновляет выработку электрической энергии ($P > 0$).

Измерения проводят в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3 с применением трансформаторов напряжения и тока с характеристиками по таблице 2.

8 Оценка качества электрической энергии

8.1 Общие положения

В настоящем разделе установлены методы оценки качества электрической энергии, вырабатываемой отдельной ВЭУ или группой ВЭУ, расположенных на конкретной площадке, позволяющие обеспечить сравнение результатов испытаний с требованиями стандартов, устанавливающих нормы качества электрической энергии.

Если поставщики электрической энергии и регулирующие органы власти применяют требования к качеству электрической энергии, отличающиеся от требований стандартов, устанавливающих нормы качества электрической энергии, то методы оценки соответствия качества электрической энергии могут быть применимы в качестве рекомендуемых.

Методы оценки соответствия качества электрической энергии применимы для ВЭУ, предназначенных для подключения в точке общего присоединения при среднем (СН) и высоком (ВН) напряжениях к электрическим сетям фиксированной частоты (с отклонением ± 1 Гц) при достаточных возможностях регулирования активной и реактивной мощности. В иных случаях методы оценки соответствия качества электрической энергии также могут быть применимы в качестве рекомендуемых.

8.2 Колебания напряжения

8.2.1Общие положения

Для установления соответствия предельно допустимым значениям фликера, доза фликера, создаваемого ВЭУ, должна быть ограничена в соответствии с формулами:

$$P_{st} \le E_{Psti}, \quad (14)$$

$$P_{lt} \le E_{Plti}, \quad (15)$$

где P_{st} , P_{lt} — кратковременная и длительная дозы фликера, создаваемого ВЭУ;

E_{Psti} , E_{Plti} — предельно допустимые значения кратковременной и длительной дозы фликера для соответствующих ТОП.

Кроме того, относительные изменения напряжения (*см. ГОСТ Р 51317.3.3*), создаваемые ВЭУ, должны быть ограничены в соответствии с формулой

$$d \leq \frac{\Delta U_{dyn}}{U_n}, \tag{16}$$

где d — относительное изменение напряжения в результате операции переключения в ВЭУ;

$\frac{\Delta U_{dyn}}{U_n}$ — максимально допустимое относительное изменение напряжения.

Рекомендуемые методы оценки предельно допустимых значений фликера и значений максимально допустимого изменения напряжения для электроустановок среднего и высокого напряжения установлены в [4].

Дозы фликера и значения относительного изменения напряжения, создаваемых ВЭУ, должны быть определены в соответствии с методикой, приведенной ниже.

8.2.2 Непрерывная работа

99-й процентиль дозы фликера, создаваемого одиночной ВЭУ при непрерывной работе, определяют с применением формулы

$$P_{st} = P_{lt} = c(\psi_k, v_a) \cdot \frac{S_n}{S_k}, \tag{17}$$

где $c(\psi_k, v_a)$ — коэффициент дозы фликера, создаваемого ВЭУ в ТОП при заданном фазовом угле полного сопротивления сети ψ_k при заданной среднегодовой скорости ветра v_a на высоте оси ветроколеса ВЭУ на конкретной площадке;

S_n — номинальная полная мощность ВЭУ;

S_k — полная мощность короткого замыкания в ТОП.

Значение дозы фликера, создаваемого ВЭУ при действующих значениях ψ_k и v_a для площадки размещения, может быть определено методом линейной интерполяции на основе данных таблицы, полученных в результате измерений в соответствии с 7.3.3.

В случае, если к ТОП подключено большое число ВЭУ, суммарная доза фликера может быть определена с использованием формулы

$$P_{st\Sigma} = P_{lt\Sigma} = \frac{1}{S_k} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{wt}} (c_i(\psi_k, v_a) \cdot S_{n,i})^2}, \tag{18}$$

где $c(\psi_k, v_a)$ — коэффициент дозы фликера, создаваемого отдельной ВЭУ;

$S_{n,i}$ — номинальная полнаяя мощность отдельной ВЭУ;

N_{wt} — число ВЭУ, подключенных к ТОП.

8.2.3 Операции переключения

Кратковременная и длительная дозы фликера, вызванные операциями переключения в одиночной ВЭУ, должны быть определены с применением формул

$$P_{st} = 18 \cdot N_{10m}^{0,31} \cdot k_f(\psi_k) \frac{S_n}{S_k}, \tag{19}$$

$$P_{lt} = 8 \cdot N_{120m}^{0,31} \cdot k_f(\psi_k) \frac{S_n}{S_k}, \tag{20}$$

где $k_f(\psi_k)$ — шаговый коэффициент дозы фликера, создаваемого ВЭУ данного ψ_k в ТОП (см. также примечание 1).

Значение шагового коэффициента дозы фликера, создаваемого ВЭУ для значения ψ_k на площадке размещения, может быть получено методом ленейной интерполяции данных, измеренных и сведенных в таблицу в соответствии с 7.3.4.

В случае, если к ТОП подключено большее число ВЭУ, суммарная доза фликера может быть определена с использованием формул:

$$P_{st\Sigma} = \frac{18}{S_k}\left(\sum_{i=1}^{N_{wt}} N_{10m,i} \cdot (k_{f,i}(\psi_k) \cdot S_{n,i})^{3,2}\right)^{0,31}, \quad (21)$$

$$P_{lt\Sigma} = \frac{8}{S_k}\left(\sum_{i=1}^{N_{wt}} N_{120m,i} \cdot (k_{f,i}(\psi_k) \cdot S_{n,i})^{3,2}\right)^{0,31}, \quad (22)$$

где $N_{10m,i}$ и $N_{120m,i}$ — максимальное число однотипных операций переключения в отдельной ВЭУ за периоды 10 мин и 2 ч соответственно;

$k_{f,i}(\psi_k)$ — шаговый коэффициент дозы фликера, создаваемого отдельной ВЭУ;

$S_{n,i}$ — номинальная полная мощность отдельной ВЭУ (см. также примечание 2).

Если применяется общая система управления, контролирующая работу нескольких ВЭУ, ограничивающая общее число операций переключения, то влияние этой системы должно быть учтено.

Относительное изменение напряжения из-за переключения в ВЭУ должно быть определено в соответствии с формулой

$$d = 100\, k_u(\psi_k)\frac{S_n}{S_k}, \quad (23)$$

где d — относительное изменение напряжения, %;

$k_u(\psi_k)$ — коэффициент искажения напряжения ВЭУ для данного ψ_k в ТОП.

Коэффициент искажения напряжения ВЭУ для действующего на площадке значения ψ_k может быть найден методом линейной интерполяции данных, измеренных и представленных в таблице в соответствии с 7.3.4.

Одновременное возникновение операций переключения в двух разных ВЭУ, входящих в группу подключенных к ТОП ветроустановок, считают маловероятным. Поэтому в учете суммарных эффектов при оценке относительного изменения напряжения для групп ВЭУ нет необходимости.

Примечания

1 Формулы (19) и (20) могут быть получены с учетом В.4.2 для периодов наблюдения 600 с и 7200 с соответственно.

2 Формулы (21) и (22) могут быть получены аналогично (19) и (20) с той разницей, что должно быть учтено общее количество ВЭУ, подключенных к ТОП. Суммирование оправдано, так как переходный процесс операции переключения, вносящий значительный вклад в создание фликера, обычно имеет малую продолжительность.

8.3 Гармоники тока, интергармоники и составляющие более высоких частот

Гармоники тока должны быть ограничены до значений, допустимых в ТОП.

Предельно допустимые значения эмиссии гармоник тока могут быть определены с учетом рекомендаций, приведенных в [5] по формуле

$$I_{h\Sigma} = \sqrt[\beta]{\sum_{i=1}^{N_{wt}}\left(\frac{I_{h,i}}{n_i}\right)^{\beta}}, \quad (24)$$

где N_{wt} — число ВЭУ, подключенных к ТОП;

$I_{h\Sigma}$ — гармоника тока порядка h в ТОП;

n_i — коэффициент трансформации на i-й ВЭУ;

$I_{h,i}$ — гармоника тока порядка h i-й ВЭУ;

β — показатель степени при суммировании гармоник, численное значение которого должно быть выбрано в соответствии с таблицей 3 и требованиями, приведенными ниже.

Т а б л и ц а 3 — Значения показателя β в формуле (24) в соответствии с [5]

Порядок гармоники	β
$h < 5$	1,0
$5 \le h \le 10$	1,4
$h > 10$	2,0

Если ВЭУ, образующие группу, имеют одинаковые конструкцию и характеристики и их преобразователи линейно коммутированы, то считают, что гармоники тока имеют одинаковые фазы и следует использовать значение $\beta = 1$ для гармоник всех порядков.

Формула (24) не учитывает, что при использовании трансформаторов с различными векторными группами могут быть исключены отдельные гармоники. Для этого случая необходимо внести поправки.

Формула (24) может применяться также при суммировании интергармоник и составляющих более высоких частот. При этом интергармоники и составляющие более высоких частот считают взаимно независимыми, и при их суммировании в формуле (24) применяют значение $\beta = 2$.

Приложение А
(справочное)

Форма отчета об испытаниях

В настоящем приложении приведена рекомендуемая форма отчета об испытаниях ВЭУ, проводимых испытательной лабораторией с целью определения характеристик ВЭУ, связанных с качеством электрической энергии. По результатам испытаний должны быть заполнены таблицы и построены графики, указанные ниже.

Примечание — Отчет об испытаниях ВЭУ, проводимых испытательной лабораторией, должен соответствовать требованиям ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025, подраздел 5.10.

ОТЧЕТ
ОБ ИСПЫТАНИЯХ ВЭУ В ЧАСТИ ХАРАКТЕРИСТИК, СВЯЗАННЫХ С КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Значения характеристик, приведенные в настоящем отчете об испытаниях, действительны только для конкретной конфигурации ВЭУ испытуемого типа. Другие конфигурации ВЭУ, включая измененные параметры регулирования, вызывающие изменения функционирования ВЭУ, влияющие на качество электрической энергии, требуют отдельной оценки.

Наименование испытательной лаборатории, проводящей испытания	
Номер отчета об испытаниях	
Обозначение типа ВЭУ	
Производитель ВЭУ	
Серийный номер испытуемой ВЭУ	

ВЭУ, идентифицированная как указано выше, была испытана в соответствии с требованиями настоящего национального стандарта. Основные характеристики ВЭУ приведены ниже.

Тип ВЭУ (ось горизонтальная/вертикальная)	
Число лопастей	
Диаметр ветроколеса, м	
Высота оси ветроколеса, м	
Управление лопастями (поворотом/срывом потока)	
Управление скоростью (скорость фиксированная/две скорости/ скорость переменная)	
Тип генератора и его номинальная мощность, кВт	
Тип частотного преобразователя и его номинальная мощность, кВ·А	
Тип компенсатора реактивной мощности и его номинальная реактивная мощность, квар	
Номинальная мощность трансформатора, кВ·А и коэффициент трансформации	
Обозначение зажимов ВЭУ	

К настоящему отчету прилагаются следующие документы.

Характер информации	Наименование документа, дата
Описание испытуемой ВЭУ, включая сведения об установках соответствующих параметров управления	
Описание площадки для испытаний и подключения ВЭУ к электрической сети	
Описание испытательного оборудования и средств измерений	
Описание условий испытаний	
Перечень отклонений от требований настоящего национального стандарта	
Составил	
Проверил	
Утвердил	
Дата заполнения	

Характеристики ВЭУ, определенные с использованием процедур, отличающихся от установленных в настоящем национальном стандарте, должны быть выделены в отчете об испытаниях. Выделение в отчете относится также к характеристикам, значения которых были вычислены, а не измерены. Использованные альтернативные процедуры определения характеристик ВЭУ указаны в документе (документах), прилагаемых к настоящему отчету.

Характеристики ВЭУ приведены ниже.

А.1 Номинальные значения характеристик ВЭУ, учитываемые при измерениях на зажимах

Номинальная мощность, P_n, кВт	
Номинальная скорость ветра, v_n , м/с	
Номинальная полная мощность, S_n , кВ·А	
Номинальный ток, I_n , А	
Номинальное напряжение, U_n, В	
Номинальная частота, f_n , Гц	

А.2 Колебания напряжения

А.2.1 Непрерывная работа

Характеристики рабочего режима ВЭУ в процессе испытания.

Управление по заданной реактивной мощности, $Q = 0$
Другой режим:

Фазовый угол полного сопротивления сети, ψ_k, град	30°	50°	70°	85°
Средняя годовая скорость ветра, v_a , м/с	Коэффициент дозы фликера при непрерывной работе, $c(\psi_k, v_a)$			
6,0				
7,5				
8,5				
10,0				

А.2.2 Операции переключения

Характеристики рабочего режима ВЭУ в процессе испытания

Управление по заданной уставке реактивной мощности, $Q = 0$
Другой режим:

Вариант операции переключения	Пуск при минимальной рабочей скорости ветра			
Максимальное число операций переключения N_{10m}				
Максимальное число операций переключения N_{120m}				
Фазовый угол полного сопротивления сети ψ_k, град	30°	50°	70°	85°
Шаговый коэффициент дозы фликера $k_f(\psi_k)$				
Коэффициент изменения напряжения $k_u(\psi_k)$				

Вариант операции переключения	Пуск при номинальной или превышающей скорости ветра			
Максимальное число операций переключения N_{10m}				
Максимальное число операций переключения N_{120m}				
Фазовый угол полного сопротивления сети ψ_k, град	30°	50°	70°	85°
Шаговый коэффициент дозы фликера $k_f(\psi_k)$				
Коэффициент изменения напряжения $k_u(\psi_k)$				

Вариант операции переключения	Наихудший случай переключения между генераторами			
Максимальное число операций переключения N_{10m}				
Максимальное число операций переключения N_{120m}				
Фазовый угол полного сопротивления сети ψ_k, град	30°	50°	70°	85°
Шаговый коэффициент дозы фликера k_f (ψ_k)				
Коэффициент изменения напряжения k_u (ψ_k)				

А.3 Гармоники тока, интергармоники и составляющие более высоких частот

Эмиссию гармоник тока, интергармоник и составляющих более высоких частот указывают в процентах от I_n для работы ВЭУ в интервалах мощности 10, 20,..., 100 % P_n.

Характеристики рабочего режима ВЭУ в процессе испытания

Управление по заданной уставке реактивной мощности, $Q = 0$
Другой режим:

А.3.1 Гармоники тока

P_{bin}, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
H	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											

P_{bin}, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
H	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											
41											
42											

P_{bin}, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
H	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %
43											
44											
45											
46											
47											
48											
49											
50											
THC, %											

А.3.2 Интергармоники тока

P_{bin}, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
f, Гц	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %
75/90											
125/150											
175/210											
225/270											
275/330											
325/390											
375/450											
425/510											
475/570											
525/630											
575/690											
625/750											
675/810											
725/870											
775/930											
825/990											

P_{bin}, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
f, Гц	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %
875/1050											
925/1110											
975/1170											
1025/1230											
1075/1290											
1125/1350											
1175/1410											
1225/1470											
1275/1530											
1325/1590											
1375/1650											
1425/1710											
1475/1770											
1525/1830											
1575/1890											
1625/1950											
1675											
1725											
1775											
1825											
1875											
1925											
1975											

А.3.3 Составляющие более высоких частот

P_{bin}, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
f, кГц	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %
2,1											
2,3											
2,5											
2,7											
2,9											
3,1											
3,3											
3,5											
3,7											
3,9											
4,1											
4,3											
4,5											
4,7											
4,9											
5,1											
5,3											
5,5											
5,7											
5,9											
6,1											
6,3											
6,5											
6,7											
6,9											
7,1											
7,3											
7,5											

P_{bin}, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
f, кГц	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %	I_h, %
7,7											
7,9											
8,1											
8,3											
8,5											
8,7											
8,9											

А.4 Воздействие провалов напряжения

Рабочий режим ВЭУ:

Условия испытания

График А.1. Временные ряды измерений провалов напряжения при отключенной испытуемой ВЭУ (варианты испытаний ПН1— ПН6).

Результаты испытания при работе в диапазоне от 0,1P_n до 0,3P_n

График А.2a. Временные ряды измерений активной мощности для прямой последовательности основной частоты (варианты испытаний ПН1— ПН6).

График А.2b. Временные ряды измерений реактивной мощности для прямой последовательности основной частоты (варианты испытаний ПН1— ПН6).

График А.3a. Временные ряды измерений активного тока для прямой последовательности основной частоты (варианты испытаний ПН1— ПН6).

График А.3b. Временные ряды измерений реактивного тока для прямой последовательности основной частоты (варианты испытаний ПН1— ПН6).

График А.4. Временные ряды измерений напряжения прямой последовательности основной частоты на зажимах ВЭУ (варианты испытаний ПН1— ПН6).

Результаты испытания ВЭУ при нагрузке более 0,9P_n номинальной активной мощности:

График А.5a. Временные ряды измерений активной мощности для прямой последовательности основной частоты (варианты испытаний ПН1— ПН6).

График А.5b. Временные ряды измерений реактивной мощности для прямой последовательности основной частоты (варианты испытаний ПН1— ПН6).

График А.6a. Временные ряды измерений активного тока для прямой последовательности основной частоты (варианты испытаний ПН1— ПН6).

График А.6b. Временные ряды измерений реактивного тока для прямой последовательности основной частоты (варианты испытаний ПН1— ПН6).

График А.7. Временные ряды измерений напряжения прямой последовательности основной частоты на зажимах ВЭУ (варианты испытаний ПН1— ПН6).

А.5 Активная мощность

А.5.1 Максимальная измеряемая мощность

Среднее значение за 600 с

Измеренное значение P_{600}, кВт	
Нормированное значение, $p_{600} = P_{60} / P_n$	

Среднее значение за 60 с

Измеренное значение, P_{60}, кВт	
Нормированное значение, $p_{60} = P_{60} / P_n$	

Среднее значение за 0,2 с

Измеренное значение, $P_{0,2}$, кВт	
Нормированное значение, $p_{0,2} = P_{0,2} / P_n$	

А.5.2 Ограничение изменения мощности

Рабочий режим ВЭУ: изменение мощности 10 % номинальной мощности в минуту

График А.8а. Временные ряды значений полной и измеренной активной выходной мощности.
График А.8b. Временные ряды измеренной скорости ветра в процессе испытания.

А.5.3 Управление по заданным уставкам активной мощности

Рабочий режим ВЭУ: режим управления по заданным уставкам активной мощности

График А.9а. Временные ряды значений уставок активной мощности, полной и измеренной активной выходной мощности.
График А.9б. Временные ряды измеренной скорости ветра в процессе испытания.

А.6 Реактивная мощность

А.6.1 Максимально допустимая реактивная мощность

Рабочий режим ВЭУ: режим управления по заданным уставкам реактивной мощности

Активная мощность, % номинальной мощности											
Максимальная индуктивная реактивная мощность, квар											
Максимальная емкостная реактивная мощность, квар											

А.6.2 Управление по заданным уставкам реактивной мощности

Рабочий режим ВЭУ: режим управления по заданным уставкам реактивной мощности

Уставка реактивной мощности 0 квар

Активная мощность, % номинальной мощности											
Реактивная мощность, квар											

Ступенчатое изменение уставки реактивной мощности

График А.9. Временные ряды значений уставок реактивной мощности и измеренной реактивной мощности.
График А.10. Временные ряды активной мощности в процессе испытания (активная мощность должна составлять приблизительно 50% номинальной).

А.7 Защита сети

Напряжение, частота	Уровень защиты		Время отключения, с	
	Уставка	Результат измерения	Уставка	Результат измерения
Повышенное напряжение				
Пониженное напряжение				
Повышенная частота				
Пониженная частота				

А.8 Время повторного подключения

Продолжительность сбоя сети	10 с	1 мин	10 мин
Фактическая измеренная продолжительность сбоя сети, с			
Время повторного подключения, с			

Приложение В
(справочное)

Колебания напряжения и фликер

В.1 Непрерывная работа

Процедуры проведения измерений и оценки дозы фликера при непрерывной работе ВЭУ приведены на рисунке В.1. Из рисунка В.1 следует, что процедура измерения является достаточно сложной, а процедура оценки сравнительно проста.

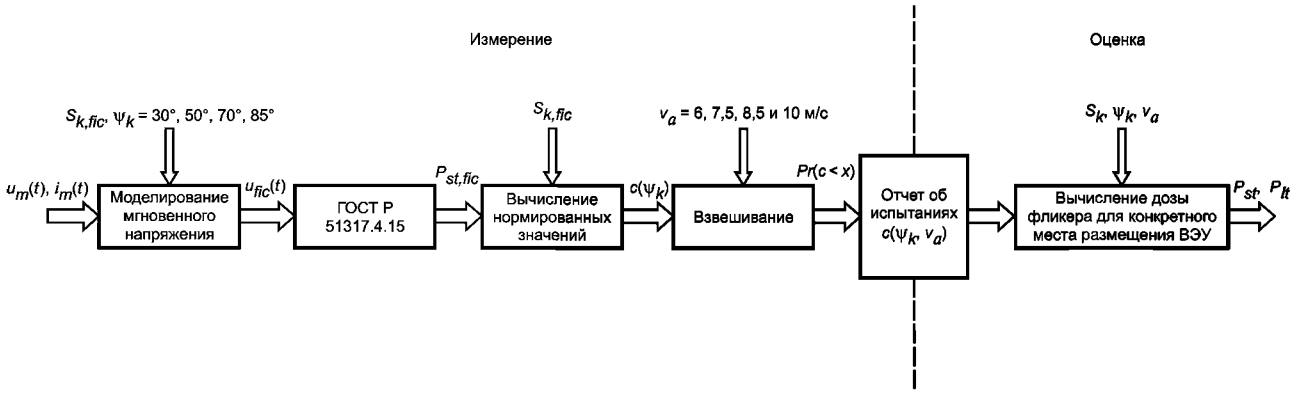


Рисунок В.1 — Процедуры проведения измерений и оценки дозы фликера при непрерывной работе ВЭУ

В соответствии с рисунком В.1 процедуры измерений включают в себя:

1) измерение нескольких временных рядов напряжения и тока $u_m(t)$, $i_m(t)$ для скоростей ветра, находящихся в диапазоне от минимальной рабочей скорости ветра до 15 м/с;

2) использование каждого блока из измеренных временных рядов в качестве входной функции для моделирования колебаний напряжения $u_{fic}(t)$ расчетной сети при соответствующей полной мощности короткого замыкания $S_{k,\,fic}$ и при четырех различных значениях фазового угла полного сопротивления сети ψ_k;

3) использование каждого моделированного мгновенного напряжения временных рядов $u_{fic}(t)$ в качестве входной функции для определения дозы фликера $P_{st,\,fic}$ в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.15;*

4) нормирование каждого значения $P_{st,\,fic}$ для получения коэффициента дозы фликера c (ψ_k), не зависящего от выбранной полной мощности короткого замыкания сети $S_{k,\,fic}$;

5) расчет для каждого значения фазового угла полного сопротивления сети ψ_k взвешенной интегральной функции распределения коэффициента дозы фликера $Pr(c < x)$ для четырех распределений скоростей ветра. $Pr(c < x)$ представляет собой распределение коэффициента дозы фликера в случае выполнения измерений в месте установки ВЭУ, имеющего распределение средней скорости ветра v_a по Релею;

6) определение 99-го процентиля коэффициента дозы фликера c (ψ_k, v_a) для каждой интегральной функции распределения.

Процедура оценки (см. рисунок В.1) позволяет на основе установленного значения дозы фликера вычислить дозу фликера, вызываемого единичной ВЭУ или группой ВЭУ, расположенных на конкретной площадке, работающих в непрерывном режиме.

В.2 Операции переключения

Порядок проведения измерений и оценки колебаний напряжения и фликера при операциях переключения представлен на рисунке В.2.

Из рисунка В.2 следует, что процедура измерения является достаточно сложной, в то время как процедура оценки сравнительно проста.

Процедуры измерения для операций переключения включают в себя:

1) измерение нескольких временных рядов напряжения и тока $u_m(t)$ и $i_m(t)$ для каждого указанного типа переключения;

2) использование каждого блока из измеренных временных рядов в качестве входной функции для моделирования колебаний напряжения $u_{fic}(t)$ расчетной сети при четырех различных фазовых углах полного сопротивления сети ψ_k и соответствующей полной мощности короткого замыкания сети $S_{k,\,fic}$;

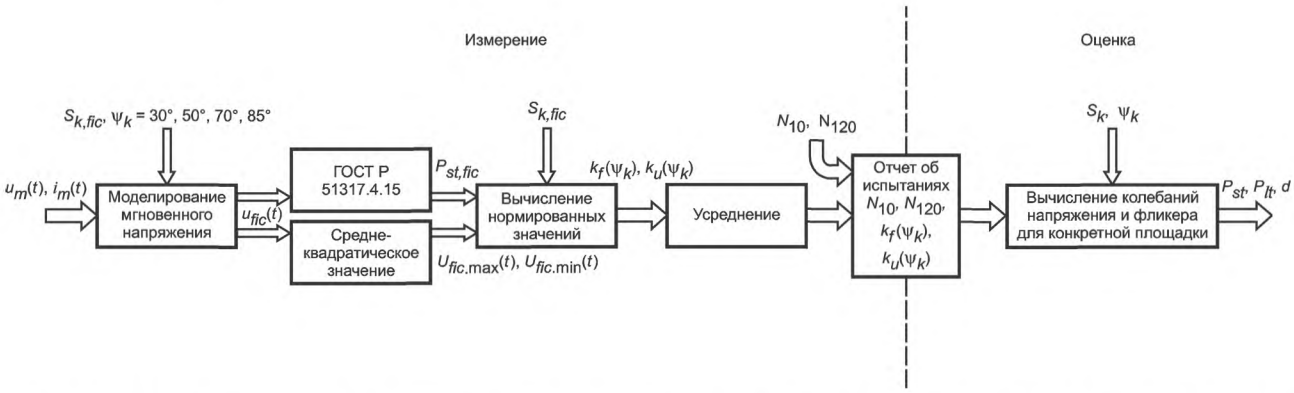


Рисунок В.2 — Процедуры проведения измерений и оценки изменений напряжения и дозы фликера при операциях переключения ВЭУ

3) использование каждого мгновенного напряжения временных рядов $u_{fic}(t)$ в качестве входной функции для определения дозы фликера $P_{st,fic}$ в соответствии с *ГОСТ Р 51317.4.15*, а также в качестве входной функции для вычисления $U_{fic,\,max}$ и минимального $U_{fic,\,min}$ среднеквадратического значения напряжения за один период;

4) приведение каждого значения $P_{st,\,fic}$ к шаговому коэффициенту дозы фликера k_j (ψ_k) и каждого значения напряжения $U_{fic,\,max}$ — $U_{fic,\,min}$ — к коэффициенту искажения напряжениия k_u (ψ_k);

5) определение для каждого значения фазового угла полного сопротивления сети ψ_k средних значений измеренных шаговых коэффициентов дозы фликера и коэффициентов искажения напряжения;

6) указание в отчете об испытаниях для каждого типа операций переключения средних значений измеренных шаговых коэффициентов дозы фликера и коэффициентов искажения напряжения вместе с максимальным количеством N_{10m} операций переключения за период времени 10 мин и максимальным количеством N_{120m} операций переключения за период времени 120 мин.

Процедура оценки (см. рисунок В.2) позволяет на основе вычисленного шагового коэффициента дозы фликера и коэффициента искажения напряжения рассчитать дозу фликера и изменения напряжения, вызванные операциями переключения для любой конкретной площадки. Процедура оценки применима как для одиночных ВЭУ, так и для группы ветровых установок.

В.3 Взвешивание значений дозы фликера

Пример, приведенный ниже, иллюстрирует процедуру взвешивания значений дозы фликера, используемую в настоящем стандарте для получения коэффициентов дозы фликера c (ψ_k, v_a), соответствующих четырем различным распределениям скоростей ветра. В настоящем подразделе определение коэффициента дозы фликера проведено только для фазового угла полного сопротивления сети ψ_k = 50°. Аналогично проводят расчеты для других значений фазового угла полного сопротивления сети — 30°, 70° и 85°.

На рисунке В.3 представлен набор измеренных значений коэффициента дозы фликера c (ψ_k) в зависимости от скорости ветра для фазового угла полного сопротивления сети ψ_k = 50°.

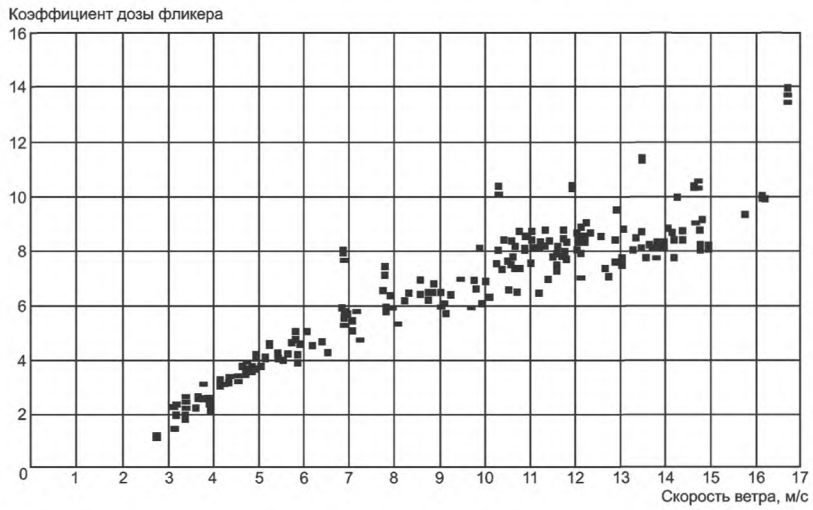


Рисунок В.3 — Зависимость измеренных значений коэффициента дозы фликера от скорости ветра

Значения коэффициентов дозы фликера используют для определения результирующего значения коэффициента дозы фликера c (ψ_k, v_a) для каждого распределения скоростей ветра в соответствии с приведенной ниже процедурой:

- проводят систематизацию коэффициентов дозы фликера c (ψ_k) в интервалах скоростей ветра 1 м/с;
- определяют число измерений в каждом интервале скоростей ветра;
- определяют весовой коэффициент w_i в каждом интервале скоростей ветра;
- определяют весовую интегральную функцию распределения $Pr(c < x)$;
- определяют 99-й процентиль, который представляет собой коэффициент дозы фликера c (ψ_k, v_a).

Минимальная рабочая скорость ветра для ВЭУ в данном примере составляет $v_{cut\text{-}in}$ = 3 м/с. Несколько измерений, проведенных при скоростях ветра ниже минимальной рабочей скорости ветра и выше 15 м/с, должны быть исключены. Для определения коэффициента дозы фликера c (ψ_k, v_a) используют измерения, строго соответствующие диапазону измерения скоростей ветра от минимальной рабочей скорости до 15 м/с.

Указанная процедура определения результирующего значения дозы фликера иллюстрируется в таблице В.1, где приведены:

- интервалы скоростей ветра;
- число измерений в каждом интервале;
- относительные частоты повторения значений коэффициента дозы фликера для i-го интервала скоростей ветра $f_{m,\,i}$ и распределения Релея $f_{y,\,i}$ для среднегодовых скоростей ветра v_a = 6; 7,5; 8,5; 10 м/с.

Таблица В.1 — Число измерений $N_{m,\,i}$ и частоты появления значений $f_{m,\,i}$ и $f_{y,\,i}$ для каждого интервала скоростей ветра в диапазоне от минимальной рабочей скорости ветра до 15 м/с

Интервалы скоростей ветра, м/с	Число измерений $N_{m,\,i}$	$f_{m,\,i}$, %	$f_{y,\,i}$, % 6 м/с	$f_{y,\,i}$, % 7,5 м/с	$f_{y,i}$, % 8,5 м/с	$f_{y,i}$, % 10 м/с
3 — < 4	30	5,38	11,64	8,21	6,64	4,98
4 — < 5	36	6,45	12,57	9,44	7,83	6,02
5 — < 6	45	8,06	12,37	10,04	8,59	6,80
6 — < 7	33	5,91	11,26	10,04	8,91	7,32
7 — < 8	42	7,53	9,58	9,53	8,83	7,56
8 — < 9	33	5,91	7,67	8,65	8,41	7,56
9 — < 10	33	5,91	5,80	7,52	7,74	7,34
10 — < 11	69	12,37	4,15	6,29	6,88	6,93
11 — < 12	87	15,59	2,82	5,07	5,94	6,39
12 — < 13	60	10,75	1,82	3,95	4,97	5,75
13 — < 14	45	8,06	1,11	2,97	4,05	5,07
14 — < 15	45	8,06	0,65	2,16	3,21	4,37
Общее число N_m	558					

Весовой коэффициент w_i определяют как отношение частоты появления скорости ветра $f_{y,\,i}$ к относительной частоте повторения измеренных коэффициентов дозы фликера $f_{m,\,i}$. Весовые коэффициенты w_i для каждого интервала скоростей ветра приведены в таблице В.2.

Таблица В.2 — Весовые коэффициенты w_i для каждого интервала скоростей ветра

Интервалы скоростей ветра, м/с	w_i при 6 м/с	w_i при 7,5 м/с	w_i при 8,5 м/с	w_i при 10 м/с
3 — < 4	2,165	1,527	1,236	0,927
4 — < 5	1,949	1,464	1,214	0,933
5 — < 6	1,533	1,245	1,065	0,843
6 — < 7	1,904	1,698	1,507	1,237
7 — < 8	1,273	1,267	1,173	1,005
8 — < 9	1,297	1,462	1,423	1,278
9 — < 10	0,980	1,272	1,308	1,241
10 — < 11	0,335	0,509	0,557	0,561
11 — < 12	0,181	0,325	0,381	0,410
12 — < 13	0,169	0,367	0,463	0,535
13 — < 14	0,138	0,368	0,502	0,628
14 — < 15	0,081	0,267	0,398	0,542

Общая сумма весовых коэффициентов для каждого интервала, умноженная на число измерений для каждого интервала, приведена в таблице В.3.

Таблица В.3 – Общая сумма весовых коэффициентов, умноженных на число измерений для всех интервалов скоростей ветра

v_a, м/с	6,0	7,5	8,5	10,0
$\sum_{i=1}^{N_{bin}} w_i \cdot N_{m,i}$	454,40	467,99	457,64	424,60

На следующем этапе расчетов результаты измерений упорядочивают по коэффициентам дозы фликера c (ψ_k), что иллюстрируется в таблице В.4. В верхней строке таблицы В.4 приведены максимальные значения коэффициентов дозы фликера c (ψ_k) в диапазоне скоростей ветра от 3 м/с до 15 м/с. В качестве максимального значения коэффициента дозы фликера c (ψ_k) принимают 100-й процентиль, представляющий собой взвешенное значение интегрального распределения Pr (c < 11,495) = 1,0. Последующие строки таблицы В.4 получены вычитанием весового коэффициента для соответствующего результата измерения, представленного в таблице В.2, разделенного на общую сумму весовых коэффициентов (таблица В.3), из данных предыдущей строки.

Таблица В.4 — Взвешенное интегральное распределение коэффициентов дозы фликера Pr (c < x) для каждого распределения скоростей ветра

Сортированные коэффициенты дозы фликера	Соответствующая скорость ветра, м/с	Pr (c < x) при 6 м/с	Pr (c < x) при 7,5 м/с	Pr (c < x) при 8,5 м/с	Pr (c < x) при 10 м/с
11,495	13,4	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
11,379	13,4	0,9997	0,9992	0,9989	0,9985
11,298	13,4	0,9994	0,9984	0,9978	0,9970

Окончание таблицы В.4

Сортированные коэффициенты дозы фликера	Соответствующая скорость ветра, м/с	*Pr (c < x)* при 6 м/с	*Pr (c < x)* при 7,5 м/с	*Pr (c < x)* при 8,5 м/с	*Pr (c < x)* при 10 м/с
10,584	14,6	0,9991	0,9976	0,9967	0,9956
10,472	11,9	0,9989	0,9971	0,9958	0,9943
10,444	14,6	0,9985	0,9964	0,9950	0,9933
10,418	11,9	0,9983	0,9958	0,9941	0,9920
10,418	10,3	0,9979	0,9951	0,9933	**0,9911**
10,364	14,6	0,9972	0,9940	0,9921	0,9898
10,308	14,6	0,9970	0,9935	0,9912	0,9885
10,286	10,3	0,9968	0,9929	**0,9903**	0,9872
10,280	11,9	0,9961	0,9918	0,9891	0,9859
10,104	10,3	0,9957	0,9911	0,9883	0,9849
10,059	14,2	0,9950	**0,9900**	0,9871	0,9836
9,931	14,2	0,9948	0,9894	0,9862	0,9823
:		:	:	:	:
8,882	12,9	0,9906	0,9788	0,9713	0,9620
8,858	12,9	**0,9902**	0,9780	0,9703	0,9608
8,846	12,1	0,9898	0,9772	0,9693	0,9595
8,836	11,3	0,9895	0,9765	0,9683	0,9582
8,831	12,1	0,9891	0,9758	0,9674	0,9573

В таблице В.4 жирным шрифтом обозначены соответствующие 99-е процентили, представляющие собой коэффициенты дозы фликера c (ψ_k, v_a) для фазового угла полного сопротивления сети 50°, которые указывают в отчете об испытаниях, что иллюстрируется в таблице В.5.

Т а б л и ц а В.5 — Результирующий коэффициент дозы фликера при непрерывной работе ВЭУ

ψ_k, град	30°	50°	70°	85°
v_a, м/с	Коэффициент дозы фликера			
6,0		8,9		
7,5		10,1		
8,5		10,3		
10,0		10,4		

Установленные коэффициенты дозы фликера являются 99-ми процентилями значений в интервале скоростей ветра от минимальной рабочей скорости ветра до 15 м/с. При этом нет необходимости рассматривать весь интервал скоростей ветра.

Неопределенность измерений, обусловленная учетом ограниченного интервала скоростей ветра, рассмотрена в таблице В.6.

В первых трех строках таблицы В.6 на основе интегральных функций распределения Релея рассчитана вероятность того, что скорость ветра будет ниже 3 м/с, в пределах установленного интервала измерений от 3 до 15 м/с и выше 15 м/с.

В лучшем случае все коэффициенты дозы фликера, не входящие в интервал измерений, не превышают 99-го процентиля в интервале измерений. В данном случае найденный процентиль фактически соответствует лучшему варианту процентиля в таблице В.6.

В худшем случае все коэффициенты дозы фликера в интервале скоростей ветра свыше 15 м/с превышают 99-й процентиль в интервале измерений. В данном случае найденный процентиль соответствует худшему варианту процентиля в таблице В.6. Фактическое процентное соотношение найденного процентиля является весьма неточным для распределений скоростей ветра с высокими значениями средних годовых скоростей ветра. Данная неопределенность измерений может быть уменьшена до любого требуемого уровня с помощью перемещения верхней границы интервала измерений выше 15 м/с. Однако, это, зачастую, значительно увеличивает требуемое время испытаний, а также стоимость измерений.

Таблица В.6 — Вероятности и процентили для различных скоростей ветра

v_a, м/с	6,0	7,5	8,5	10,0
Pr (v < 3 м/с), %	17,8	11,8	9,3	6,8
Pr (3 м/с < v < 15 м/с), %	81,4	83,9	82,0	76,1
Pr (v > 15 м/с), %	0,7	4,3	8,7	17,1
Лучший вариант процентиля, %	99,2	99,2	99,2	99,2
Худший вариант процентиля, %	98,4	94,8	90,5	82,2
Примечание — В первых трех строках приведены вероятности нахождения скорости ветра ниже, выше или в пределах указанного интервала измерений от 3 до 15 м/с. Исходя из данных вероятностей, возможные интервалы фактически измеренных процентилей приведены в двух последних строках.				

В.4 Объяснение понятий

В.4.1 Коэффициент дозы фликера

Моделируемое значение дозы фликера $P_{st,\ fic}$ зависит от мощности короткого замыкания расчетной сети $S_{k,\ fic}$ и фазового угла полного сопротивления сети ψ_k. Доза фликера $P_{st,\ fic}$ приблизительно обратно пропорциональна $S_{k,\ fic}$, тогда как отношение между $P_{st,\ fic}$ и ψ_k зависит от типа ВЭУ. Следовательно, коэффициент дозы фликера c (ψ_k) и значение $P_{st,\ fic}$ связаны друг с другом зависимостью

$$P_{st,fic} = c(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_{k,fic}}, \qquad \text{(В.1)}$$

где S_n — номинальная полная мощность ВЭУ.

Поэтому, коэффициент дозы фликера c (ψ_k) равен

$$c(\psi_k) = P_{st,fic} \cdot \frac{S_{k,fic}}{S_n}. \qquad \text{(В.2)}$$

В.4.2 Шаговый коэффициент дозы фликера

Аналитический метод определения кратковременной дозы фликера на основе характеристики изменения напряжения и коэффициента приведения установлен в *ГОСТ Р 51317.3.3.* Коэффициент приведения для ступенчатых изменений напряжения равен единице. Данный метод используется для определения шагового коэффициента дозы фликера k_f (ψ_k) в настоящем стандарте. Шаговый коэффициент дозы фликера определяется так, чтобы его можно было в дальнейшем использовать в вычислениях эквивалентного шага напряжения, величина дозы фликера которого соответствует величине дозы фликера при операции переключения. Для этого используют формулу

$$d_{\max} = k_f(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_{k,fic}} \cdot 100, \qquad (B.3)$$

где $d_{\max}$ — эквивалентный шаг напряжения, % номинального напряжения.

На основе аналитического метода, установленного в *ГОСТ Р 51317.3.3*, значение эквивалентного шага напряжения $d_{\max}$ позволяет определить время восприятия фликера t_f

$$t_f = 2{,}3 \cdot d_{\max}^{3,2}. \qquad (B.4)$$

Далее с использованием значения времени восприятия фликера определяют значение кратковременной дозы фликера по формуле

$$P_{st,fic} = \left(\frac{\sum t_f}{T_p}\right)^{1/3,2}, \qquad (B.5)$$

где T_p — период наблюдения.

При одиночном времени восприятия фликера t_f кратковременная доза фликера $P_{st,\,fic}$ равна

$$P_{st,fic} = 100 \cdot k_f(\psi_k) \frac{S_n}{S_{k,fic}} \left(\frac{2{,}3}{T_p}\right)^{1/3,2}. \qquad (B.6)$$

С использованием данного результата шаговый коэффициент дозы фликера $k_f(\psi_k)$ может быть определен по формуле

$$k_f(\psi_k) = \frac{S_{k,fic}}{100 \cdot S_n} \cdot \left(\frac{T_p}{2{,}3}\right)^{1/3,2} \cdot P_{st,fic}. \qquad (B.7)$$

Время наблюдения T_P в (B.7) представляет собой длительность моделируемого временного ряда, с.

B.4.3 Коэффициент изменения напряжения

Относительное изменение напряжения Δu, вызванное операцией переключения ВЭУ, зависит от мощности короткого замыкания расчетной сети $S_{k,\,fic}$ и фазового угла полного сопротивления сети ψ_k. Значение Δu приблизительно обратно пропорционально $S_{k,\,fic}$, тогда как отношение между Δ_u и ψ_k обусловлено техническими особенностями ВЭУ. Следовательно, коэффициент изменения напряжения $k_u(\psi_k)$ определяется по формуле

$$\Delta u = k_u(\psi_k) \cdot \frac{S_n}{S_{k,fic}}. \qquad (B.8)$$

Коэффициент изменения напряжения можно определить, подставляя (B.8) моделированное изменение напряжения в сети, имеющей мощность короткого замыкания расчетной сети $S_{k,\,fic}$,

$$k_u(\psi_k) = \sqrt{3}\frac{U_{fic,\max} - U_{fic,\min}}{U_n} \frac{S_{k,fic}}{S_n}, \qquad (B.9)$$

где $U_{fic,\max}$ и $U_{fic,\,\min}$ — соответственно максимальное и минимальное значения моделированного изменения линейного напряжения $u_{fic}(t)$ в расчетной сети.

Приложение С
(справочное)

Измерение напряжения, активной и реактивной мощности

В настоящем приложении приведены рекомендации по порядку вычисления напряжения, активной и реактивной мощности, активного и реактивного тока для прямой последовательности основной частоты с использованием результатов измерения мгновенных значений напряжений и токов.

Основание для представления мощности, тока и напряжения их прямым последовательностям основной частоты состоит в том, что такое представление обеспечивает четкое определение количественных значений, что особенно важно для случая несимметричной энергетической системы. Кроме того, необходимо учитывать следующие обстоятельства:

a) прямая последовательность основной частоты создает крутящий момент вращающихся машин. Обратная последовательность и гармоники вызывают потери;

b) во многих случаях устанавливают реактивный ток вместо реактивной мощности. С использованием прямой последовательности основной частоты может быть определена реактивная составляющая тока в явной форме. То же самое относится к определению коэффициента мощности;

c) многие модели энергетических систем используют только прямую последовательность основной частоты. Поэтому, для упрощения проверки процессов моделирования, измерения должны быть представлены аналогичным образом.

Для измерения напряжений и токов прямой последовательности основной частоты необходим многоканальный регистратор данных с высокой частотой выборки (как правило, не менее 2 кГц на канал). Аналоговый фильтр, исключающий паразитное наложение спектров (фильтр низких частот), должен иметь ту же частотную характеристику на всех входах напряжения и тока во избежание фазовых ошибок. Более того, при рабочей частоте погрешность определения амплитуд, обусловленная фильтром, исключающим паразитное наложение спектров, должна быть пренебрежимо мала.

После измерения фазных напряжений и токов следует вначале вычислить коэффициенты Фурье основной гармоники за один период T (приведенная формула применима для напряжения u_a фазы a; другие фазные напряжения и токи вычисляют подобным же образом):

$$u_{a,\cos} = \frac{2}{T}\int_{t-T}^{t} u_a(t)\cos(2\pi f_1 t)\,dt, \tag{C.1}$$

$$u_{a,\sin} = \frac{2}{T}\int_{t-T}^{t} u_a(t)\sin(2\pi f_1 t)\,dt, \tag{C.2}$$

где f_1 — частота основной гармоники.

Действующее значение фазового напряжения основной частоты определяют по формуле

$$u_{a1} = \sqrt{\frac{u_{a,\cos}^2 + u_{a,\sin}^2}{2}}. \tag{C.3}$$

Векторные компоненты напряжения и тока прямой последовательности основной частоты вычисляют по формулам:

$$u_{1+,\cos} = \frac{1}{6}\left[2u_{a,\cos} - u_{b,\cos} - u_{c,\cos} - \sqrt{3}\,(u_{c,\sin} - u_{b,\sin})\right], \tag{C.4}$$

$$u_{1+,\sin} = \frac{1}{6}\left[2u_{a,\sin} - u_{b,\sin} - u_{c,\sin} - \sqrt{3}\,(u_{b,\cos} - u_{c,\cos})\right], \tag{C.5}$$

$$i_{1+,\cos} = \frac{1}{6}\left[2i_{a,\cos} - i_{b,\cos} - i_{c,\cos} - \sqrt{3}\,(i_{c,\sin} - i_{b,\sin})\right], \tag{C.6}$$

$$i_{1+,\sin} = \frac{1}{6}\left[2i_{a,\sin} - i_{b,\sin} - i_{c,\sin} - \sqrt{3}\,(i_{b,\cos} - i_{c,\cos})\right]. \tag{C.7}$$

Активная и реактивная мощности прямой последовательности основной частоты равны соответственно:

$$P_{1+} = \frac{3}{2}\left(u_{1+,\cos}\,i_{1+,\cos} + u_{1+,\sin}\,i_{1+,\sin}\right), \tag{C.8}$$

$$Q_{1+} = \frac{3}{2}\left(u_{1+,\cos} i_{1+,\sin} - u_{1+,\sin} i_{1+,\cos}\right). \quad (C.9)$$

А действующее значение междуфазного напряжения прямой последовательности основной частоты равно

$$U_{1+} = \sqrt{\frac{3}{2}\left(u_{1+,\sin}^2 + u_{1+,\cos}^2\right)}. \quad (C.10)$$

Действующие значения активных и реактивных токов прямой последовательности основной частоты равны соответственно:

$$I_{P1+} = \frac{P_{1+}}{\sqrt{3}U_{1+}}, \quad (C.11)$$

$$I_{Q1+} = \frac{Q_{1+}}{\sqrt{3}U_{1+}}. \quad (C.12)$$

Коэффициент мощности прямой последовательности основной частоты равен

$$\cos\varphi_{1+} = \frac{P_{1+}}{\sqrt{P_{1+}^2 + Q_{1+}^2}}. \quad (C.13)$$

Данные вычисления могут быть проведены с помощью программы табличных вычислений или специальной компьютерной программы. Новые значения реактивной и активной мощностей должны быть вычислены, как минимум, один раз в течение каждого базового периода с использованием последних результатов измерений.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного национального стандарта Российской Федерации	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ Р ИСО 9000 — 2008	IDT	ИСО 9000:2005 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь»
ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025 — 2006	IDT	ИСО/МЭК 17025:2005 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий»
ГОСТ Р 51237 — 98	—	*
ГОСТ Р 1983 — 2001	—	*
ГОСТ Р 7746 — 2001	—	*
ГОСТ Р 51317.3.3 — 2008 (МЭК 61000-3-3:2005)	MOD	МЭК 61000-3-3:2005 «Электромагнитная совместимость. Часть 3-3: Пределы. Ограничение пульсаций напряжения и мерцания в низковольтных коммунальных системах питания для оборудования с номинальным током не более 16 А на фазу и не подвергаемого обусловленному соединению»
ГОСТ Р 51317.3.12 — 2006 (МЭК 61000-3-12:2004)	MOD	МЭК 61000-3-12:2004 «Электромагнитная совместимость. Часть 3. Пределы. Раздел 12. Пределы. Пределы для гармоничных токов, генерируемых оборудованием, связанным с бытовыми низковольтными системами с входным током 16 А и меньше или равным 75 А на фазу»
ГОСТ Р 51317.4.7 — 2008 (МЭК 61000-4-7:2003)	MOD	МЭК 61000-4-7:2008 «Электромагнитная совместимость. Часть 4-7. Методики испытаний и измерений. Общее руководство по измерениям и приборам для измерения гармоник и промежуточных гармоник для систем энергоснабжения и связанного с ним оборудования»
ГОСТ Р 51317.4.15 — 99 (МЭК 61000-4-15 — 97)	MOD	МЭК 61000-4-15:1997 «Электромагнитная совместимость. Часть 4. Методики испытаний и измерений. Раздел 15. Фликерметр. Технические условия на функциональные характеристики и конструкцию»
ГОСТ Р 51317.4.30 — 2008 (МЭК 61000-4-30:2008)	MOD	МЭК 61000-4-30:2008 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-30. Техника испытаний и измерений. Методы измерений показателей качества электрической энергии»
ГОСТ 30372 — 95/ ГОСТ Р 50397 — 92	NEQ	МЭК 60050-161:1990 «Международный электротехнический словарь. Глава 161: Электромагнитная совместимость»

* Соответствующий международный стандарт отсутствует.

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

IDT — идентичные стандарты;

MOD — модифицированные стандарты;

NEQ — неэквивалентные стандарты.

Библиография

[1] МЭК 60050-161:1990 Международный электротехнический словарь. Глава 161: Электромагнитная совместимость

[2] МЭК 61400-12-1:2005 Системы турбогенераторные ветровые. Часть 12-1. Измерения характеристик мощности ветровых турбин для производства электроэнергии

[3] МЭК 62008:2005 Рабочие характеристики и методы калибровки систем сбора цифровых данных и соответствующее программное обеспечение

[4] МЭК/ТО 61000-3-6:2008 Электромагнитная совместимость. Часть 3-6. Пределы. Оценка пределов излучения для подсоединения искажающих установок к энергетическим системам среднего и высокого и сверхвысокого напряжения

[5] МЭК/ТО 61000-3-7:2008 Электромагнитная совместимость. Часть 3-7. Пределы. Оценка пределов излучения для подсоединения знакопеременных установок к энергетическим системам среднего и высокого и сверхвысокого напряжения

УДК 621.396/.397.4:006.354 ОКС 27.180 Э02

Ключевые слова: ветроэлектрическая установка, электрическая энергия, электрическая сеть, качество электрической энергии, электромагнитная совместимость, гармоники напряжения и тока, активная мощность, реактивная мощность, время повторного подключения, точка общего присоединения

Редактор *Е. В. Вахрушева*
Технический редактор *В. Н. Прусакова*
Корректор *Н. И. Гаврищук*
Компьютерная верстка *З. И. Мартыновой*

Сдано в набор 15.05.2012. Подписано в печать 12.07.2012. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 6,00. Тираж 104 экз. Зак. 863.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано и отпечатано в Калужской типографии стандартов, 248021 Калуга, ул. Московская, 256.

gost.e-ecolog.ru