ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 54418.1— 2012 (МЭК 61400-1:2005)

Возобновляемая энергетика. Ветроэнергетика

УСТАНОВКИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ

Часть 1

Технические требования

IEC 61400-1:2005
Wind turbines - Part 1: Design requirements
(MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (ОАО «НИИЭС») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 330 «Процессы, оборудование и энергетические системы на основе возобновляемых источников энергии»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 сентября 2012 г. № 378-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту МЭК 61400-1:2005 «Системы турбогенераторные ветровые. Часть 1. Требования к конструкции» (IEC 61400-1:2005 «Wind turbines — Part 1: Design requirements»), при этом:

• наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ 1.5 (подраздел 3.6);

-дополнительные положения, учитывающие потребности национальной экономики Российской Федерации и особенности российской стандартизации, приведены в разделах и пунктах:

-6.1.1 Климатическое исполнение ВЭУ;

• 13.4.1 Основные требования к руководству по эксплуатации (дополнено перечислениями: «действия персонала при пожаре: сведения по утилизации изделия и его составных частей»);

-14 Охрана окружающей среды;

-15 Требования по утилизации (ликвидации) ВЭУ. которые выделены курсивом, а информация с объяснением причин включения этих положений приведена в указанных разделах и пунктах или после соответствующих абзацев и статей;

- дополнительные слова (фразы, показатели и их значения), учитывающие потребности национальной экономики Российской Федерации и особенности российской стандартизации, выделены курсивом;

• в стандарт не включены сокращения, приведенные в 4.2 примененного международного стандарта. которые нецелесообразно применять в национальной стандартизации в связи с установившейся практикой использования полных названий данных терминов. Фраза «Процедуры, описанные в МЭК 61400-21, могут использоваться для подтверждения соответствия требованиям сети передачи и распределения мощности» не включена в текст пункта 10.10 настоящего стандарта, так как отсутствует национальный эквивалент ссылочного международного стандарта

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила *применения настоящего сттандарта установлены е ГОСТР 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок* — в *ежемесячном указателе «Национальные стандарты». В* случае *пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные* стандарты». *Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.fu)*

© Стамдартинформ. 2016

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

Электротехническая библиотека Elec.ru

Содержание

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Введение

Настоящий стандарт разработан в целях:

• обеспечения безопасности жизни и здоровья граждан, государственного и муниципального имущества: охраны окружающей среды, жизни и здоровья животных;

• обеспечения условий безопасности при эксплуатации и техническом обслуживании ветровых электростанций и ветроэнергетических установок, соответствующих Федеральным законам «О техническом регулировании» и «Об электроэнергетике».

Настоящий стандарт устанавливает необходимый минимальный набор требований, необходимых при проектировании ветроэнергетических установок (ВЭУ). разработке технической документации (конструкторской. технологической, проектной), в том числе технических условий.

Настоящий стандарт предназначен для применения субъектами хозяйственной деятельности на стадиях:

• проектирования:
• строительства;
• реконструкции:
• подтверждения соответствия;
• реализации (поставки, продажи);
• использования (эксплуатации);
• хранения;
• выполнения работ и оказания услуг:
• разработки технической документации (конструкторской, технологической, проектной), в том числе технических условий.

Примечание - Дополнение оригинального текста примененного международного стандарта выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 1.5.

Настоящий стандарт не предназначен для использования в качестве исчерпывающих технических требований к проектированию или в качестве руководства по проектированию.

Любое из установленных требований настоящею стандарта может быть изменено, если надлежащим образом будет доказано, что при этом требуемый уровень безопасности ВЭУ обеспечен. Данное условие не относится к классификации и связанным с ней определениям параметров внешней окружающей среды, которые изложены в разделе 6. Соблюдение настоящего стандарта не является основанием. освобождающим любое физическое или юридическое лицо вне зависимости от форм собственности от необходимости использования других применимых норм и регламентов.

Требования настоящего стандарта не распространяются на проектирование ВЭУ и их несущих конструкций, размещаемых в морской прибрежной зоне.

Примечание -Из примененного международного стандарта исключена фраза: «Стандарт, затрагивающий требования к ВЭУ морского исполнения, в настоящее время находится на стадии рассмотрения».

Электротехническая библиотека Elec.ru

ГОСТ Р 54418.1—2012
(МЭК 61400-1:2005)

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Возобновляемая энергетика

Ветроэнергетика

УСТАНОВКИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ

Часть 1
Технические требования

Renewable power engineering. Wind power engineering. Wind turbines. Part 1.
Technical requirements

Дата введения — 2014—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает основные технические требования к конструкции ветроэнергетических установок (ВЭУ). которые должны быть учтены на стадии проектирования и реализация которых должна обеспечить ее структурную целостность в процессе эксплуатации. Настоящий стандарт распространяется на ВЭУ всех типоразмеров, за исключением ВЭУ. предназначенных для размещения в морской прибрежной зоне.

Примечание — Из модифицированного текста исхлкнена фраза *«Для* малых *ВЭУ может применяться МЭК 61400-2р. так как названный документ не является актуальным для настоящего стандарта.*

Назначение настоящего стандарта состоит в обеспечении гарантированного уровня надежности при всех возможных рисках, возникающих в течение жизненного цикла ВЭУ.

Настоящий стандарт затрагивает все подсистемы ВЭУ. такие как устройства управления и защиты. электрические и механические системы, несущие конструкции.

Настоящий стандарт должен использоваться совместно со стандартами, на которые настоящий стандарт ссылается и которые перечислены в разделе 2.

2 Нормативные ссылки

8 настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 12.1.019—2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезоласность. Общие требования и номенклатура видов защиты

ГОСТ Р 12.4.026—2001 Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний

ГОСТ Р ИСО 9004—2010 Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества

ГОСТ Р ИСО 9001—2015 Системы менеджмента качества. Требования

ГОСТ Р 50571.2—94 (МЭК 364-3—93) Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики

ГОСТ Р 50571.16—2007 (МЭК 60364-6:2006) Электроустановки низковольтные. Часть 6. Испытания

ГОСТ Р 50571.26—2002 (МЭК 60364-5-534—97) Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Раздел 534. Устройства защиты от импульсных перенапряжений

ГОСТ Р 50571.5.54—2011 (МЭК 60364-5-54:2002) Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и проводники уравнивания потенциалов

Издание официальное

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

ГОСТ Р 51317.6.1—99 (МЭК 61000-6-1—97) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Требования и методы испытаний

ГОСТ Р 51317.6.3—2009 (МЭК 61000-6-3:2006) Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитные помехи от технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Нормы и методы испытаний

ГОСТ Р 51991—2002 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Общие технические требования

ГОСТ 2.102—68 Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов

ГОСТ 2.601—2006 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.

ГОСТ 2.610—2006 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов

ГОСТ 12.1.004—91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.030—81 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление. зануление

ГОСТ 12.2.003—91 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.2.007.0—75 Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.3.002—75 Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.3.009—76 Система стандартов безопасности труда. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности

ГОСТ 27.301—95 Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения

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

ГОСТ 15150—69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 15846—2002 Продукция, отправляемая в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение

ГОСТ 18854—94 (ИСО 76—87) Подшипники качения. Статическая грузоподъемность

ГОСТ 18855—94 (ИСО 281—89) Подшипники качения. Динамическая расчетная грузоподъемность и расчетный ресурс (долговечность)

ГОСТ 21130—75 Изделия электротехнические. Зажимы заземляющие и знаки заземления. Конструкция и размеры

ГОСТ 21354—87 (СТ СЭВ 5744—86) Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность

ГОСТ 26653—90 Подготовка генеральных грузов к транспортированию. Общие 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 ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта е ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана осыпка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 51237. а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 абсолютная величина вектора скорости ветра (wind speed) *V~.* Скорость ветра для заданной точки е пространстве — скорость движения элементарного количества воздуха, окружающего указанную точку.

Примечание — Скорость ветра — эго также величина локального вектора схорости ветра (см. 3.5).

3.2 аварийный останов (ВЭУ) (emergency shutdown (wind turbines)): Остановка ВЭУ, последовавшая в результате включения функций защиты или вмешательства персонала.

3.3 базовая скорость ветра (reference wind speed) V_{nt}: Основная характеристика скорости ветра, используемая для классификации 8ЭУ; остальные влияющие на конструкцию климатические параметры выводятся из базовой скорости и прочих основных параметров, определяемых классом принадлежности ВЭУ в соответствии с разделом 6.

Примечание — ВЭУ. принадлежащая к классу ВЭУ с базовой скоростью $V_{fc(}$, должна выдерживать климатические условия, в которых экстремальная средняя за 10-минутный интервал скорость ветра с периодом повторяемости 50 лет на высоте оси ветроколеса меньше или равна *V^.*

3.4 блокировка (ВЭУ) [Mocking (wind turbines)]: Использование штифтов, штырей, пальцев или других устройств (кроме обычного механического тормоза), которые не могут быть рассоединены случайно. для предотвращения движения, например вала ветроколеса или механизма установки на ветер.

3.5 вектор скорости ветра (wind velocity): Вектор, указывающий направление движения элементарного объема воздуха, окружающего рассматриваемую точку. Значение вектора равно скорости движения этого элементарного объема воздуха (т. е. локальной схорости ветра).

Примечание — Векгор скорости в любой точке, тмим образом, является производной по времени от вектора положения элементарного объема воздуха, перемещающегося через рассматриваемую точку.

3.6 вертикально-осевая ВЭУ (vertical axis wind turbine): ВЭУ. у которой ось ветроколеса вертикальная.

Примечание

ВД. у которого ось вращения расположена *перпендикулярно вектору скорости ветре.*
{ГОСТР 51237-95. *статья3.3.2]*

3.7 вертикальный профиль ветра — закон сдвига ветра (wind profile — wind shear law): Математическое выражение для предполагаемого изменения скорости ветра по высоте над землей.

Примечание — Обычно используемые профили описываются логарифмическими зависимостями (формула 1} или степенными функциями (формула 2).

$$V(z) * V\{z,)\frac{\ln(z/z_D)}{!n(z,/ro)}, \qquad O)$$

$$V\{z) = V\{z_r)\ j \qquad (2)$$

где *V (г)* — скорость ветра на высоте z;

z — высота над поверхностью земли;

z_r — базовая высота над землей, используемая для построения профиля:

2_0 — параметр шероховатости поверхности:

а — показатель степени функции распределения

Примечание

Зависимость скорости ветра по высоте в приземном слов, определяемая для конкретной местности на основе измерений скорости ветра на различной *высоте относительно земной поверхности.*
(ГОСТР 5/237-98, *статья А. 4}*

Электротехническая библиотека Elec.ru

3.8 вотропарк (wind farm): см. 3.9.

3.9 ветроэлектростанция (wind power station): Группа или группы ВЭУ, обычно называемые ветропарком.

3.10 внеплановое обслуживание (unscheduled maintenance): Техническое обслуживание, необходимость выполнения которого устанавливается на основе полученного сигнала, сообщающего о состоянии детали, узла, сборочной единицы, и которое не предусмотрено установленным календарным графиком.

3.11 внешние условия (ВЭУ) [external conditions (wind turbines)): Факторы, оказывающие воздействия на процесс эксплуатации ВЭУ, включая экологические условия (температура, плохая видимость, гололед и т. д.) и условия, накладываемые сетью подключения.

3.12 вырабатываемая мощность (power output): Мощность определенного вида, выработанная устройством для определенной цели.

Примечание — Для ВЭУ эго вырабатываемая электрическая мощность.

3.13 высота оси (ВЭУ) [hub height (wind turbines)) z_{hub}: Высота центра ометаемой площади ветроколеса ВЭУ над поверхностью земли (см. 3.26. ометаемая площадь).

3.14 гондола (nacelle): Помещение, расположенное на верху башни горизонтально-осевой ВЭУ. в котором находятся трансмиссия и другие элементы.

Примечание

Составная часть ВА с горизонтально-осевым ВД. е котором размещены элементы *опор ВК. СПМ. СГЭЭ. система ориентации ВК на* направление *ветра и другие элементы ветродвигателя.*

(ГОСТ Р 51237-98. статья *3.3.8}*

3.15 горизонтально-осевая ВЭУ (horizontal axis wind turbine): ВЭУ. у которой ось ветроколеса расположена параллельно или почти параллельно направлению ветра.

3.16 запаркованная ВЭУ (parked wind turbine): Состояние ВЭУ. при котором ее ВА не вращается либо совершает холостой ход (зависит от конструкции ВЭУ).

3.17 инерционная область (inertial sub-range): Интервал частоты спектра турбулентности, в котором вихревое движение (после достижения изотропии) претерпевает последовательное разрушение с незначительным рассеянием энергии.

Примечание — При типовой скорости ветре 10 м/с инерционная область располагается в диапазоне (примерно) от 0, 2 Гц до 1 кГц.

3.18 интенсивность турбулентности (turbulence intensity) *I:* Отношение среднеквадратичной пульсации скорости ветра к средней скорости ветра, определенной из того же самого набора выборок измерений скорости ветра, которые берутся за указанный период времени.

3.19 клеммы ВЭУ (wind turbine terminals): Точка или точки, обозначенные поставщиком, в которых ВЭУ подключается к сети сбора мощности и которые представляют собой соединительные устройства, обеспечивающие передачу энергии и связь.

3.20 логарифмический закон для сдвига ветра (logarithmic wind shear law): См. 3.7.

3.21 максимальная рабочая скорость ветра (cut-out wind speed) V_{out}: Самая высокая скорость ветра на высоте оси ветроколеса. на которую рассчитана ВЭУ и при которой она вырабатывает электроэнергию в случае устойчивого нетурбулентного набегающего ветрового потока.

Примечание

Скорость *ветра, при которой расчетная прочность ВА* позволяет *производить электроэнергию без повреждений.*

(ГОСТР 51237-98. статья 3.2.13}

3.22 минимальная рабочая скорость ветра (cut-in wind speed) V_{in}: Самая низкая скорость ветра на высоте оси ветроколеса. при которой ВЭУ начинает вырабатывать электроэнергию в случае устойчивого нетурбулентного набегающего ветрового потока.

Примечание

Минимальная *скорость ветра, при которой* обеспечивается *вращение ВА с номинальной частотой вращения с* нулевой *производительностью (холостой ход).*

(ГОСТР 51237-98. статья 3.2.11}

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

3.23 несовпадение оси ветроколеса с направлением скорости ветра (для ветроколес с горизонтальной осью вращения) (yaw misalignment): Отклонение оси вращения ветроколеса в горизонтальной плоскости от направления ветра.

3.24 номинальная мощность (rated power): Значение мощности, объявленное производителем и соответствующее указанным режимам эксплуатации устройства или оборудования.

Примечание — Значение максимальной непрерывной электрической мощности, выдаваемой в режиме нормальной эксплуатации и при нормальных внешних условиях, которая была задана в процессе проектирования ВЭУ.

3.25 номинальная скорость ветра (rated wind speed) V_r: Минимальная скорость ветра на высоте оси ветроколеса. при которой достигается номинальная мощность ВЭУ в случае устойчивого нетурбулентного набегающего воздушного потока.

3.26 нормальное выключение (ВЭУ) (normal shutdown (wind turbines)]: Выключение, при котором все его этапы находятся под контролем системы управления.

3.27 ометаемая площадь (swept area): Площадь проекции поверхности, которую описывает ветроколесо за один полный оборот, на плоскость, перпендикулярную направлению скорости ветра.

3.28 опорная (несущая) конструкция (ВЭУ) [support structure (wind turbines)]: Часть ВЭУ. включающая в себя башню и фундамент.

3.29 остановка (standstill): Состояние ВЭУ, при котором ее ветроагрегат неподвижен.

3.30 отказоустойчивость (fail-safe): Свойство изделия, обеспечиваемое при проектировании и заключающееся в способности сохранять нормальное функционирование при наличии отказов его элементов.

3.31 параметр масштаба турбулентности (turbulence scale parameter) A_1: Длина волны, при которой безразмерная плотность продольной спектральной мощности равна 0,05.

Примечание — Длина волны, таким образом, определена как Л, = Ц„иЬ^0- ГД® = 0.05 .

3.32 плановое обслуживание (scheduled maintenance): Профилактическое техническое обслуживание. выполняемое в соответствии с установленным календарным графиком.

3.33 площадка для размещения ВЭУ (wind turbine site): Место, определенное для установки одной отдельно взятой ВЭУ. или территория в пределах ветроэлектростанции.

3.34 по ветру (downwind): В направлении скорости ветра.

3.35 показатель степени функции сдвига ветра (wind shear exponent) а: Также известен как показатель степени функции распределения (см. 3.7).

3.36 порыв (gust): Внезапное изменение скорости ветра.

Примечание — Порыв ветра характеризуется временем нарастания, амплитудой и продолжительностью.

3.37 потеря сети (network loss): Отсутствие соединения с сетью в течение периода, превышающего любое время задержки срабатывания в системе управления ВЭУ.

3.38 предельное состояние (limit state): Состояние конструкции и нагрузок, действующих на нее. превышение которых приводит к тому, что конструкция больше не удовлетворяет проектным требованиям.

Примечание — Назначение проектных расчетов в соответствии (т. е. проектных требований по условиям продельного состояния) с ГОСТ 27.301 состоит в том. чтобы сохранить вероятность достигнутого предельного состояния ниже определенного значения, заранее назначенного для рассматриваемого вида конструкции.

3.39 проектные ограничения (design limits): Максимальные или минимальные значения, используемые в проекте.

3.40 простой (ВЭУ) (standstill): Состояние ВЭУ. при котором ее ветроагрегат не вращается.

3.41 против ветра (upwind): Направление, противоположное главному вектору скорости ветра.

3.42 распределение Вейбулла (Weibuli distribution) P_W: Вероятностная функция распределения в соответствии с 3.44.

3.43 распределение Рэлея (Rayleigh distribution) P_R: Функция распределения вероятности в соответствии с 3.44.

3.44 распределение скорости ветра (wind speed distribution): Вероятностная функция распределения. используемая для описания распределения скоростей ветра за продолжительный период времени.

Примечание — Наиболее часто используют функцию Рэлея Р^(Уф) и функцию Вейбулла P^Vq).

Электротехническая библиотека Elec.ru

Р*(У0)-1-exp[-п(У0/2Увм)2]. **(3)**

w(Vo)-l-e[-W>'C)r].

при V_{avg} **=** $C\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)$ (4)

C jf/Z если кш 2

где P(Vq) — совокупная функция вероятности, т. е. вероятность того, что V < *Vq*,

$У_0$ — предельная скорость ветра:

V_{gvg} — среднее значение *V;*

С — масштабный параметр функции Вейбулла:

к — параметр формы функции Вейбулла:

Г — гамма-функция.

Оба параметра С и *к* можно определить по результатам измерения данных. Функция Рэлея идентична функции Вейбулла при * = 2. а С и удовлетворяют условиям, установленным в (4) при *к = 2.*

Функции распределения выражают совокупную вероятность того, что скорость ветра ниже, чем *Vq*. Таким образом, разность (FfV^) - P(V_2)). вычисленная для указанных пределов V, и V_2. соответствует доле времени, в течение которого скорость ветра остается в этих пределах. Дифференцирование функций распределения дает соответствующие функции плотности вероятности.

Примечание —

Функция статистической закономерности частот вариации *скоростей ветра за* определенный период *времени, аппроксимирующая статистические* данные наблюдений.
(ГОСТ Р 51237-98. статья А.6)

3.45 сведения о площадке (site data): Данные, относящиеся к площадке размещения ВЭУ и описывающие окружающую среду, сейсмические особенности, химические и механические свойства слагающих грунтов, особенности сети подключения (сведения, описывающие ветровой поток, должны быть статистическими данными с 10-минутной выборкой, если не задан иной интервал).

3.46 сдвиг ветра (wind shear): Изменение скорости ветра в плоскости, перпендикулярной направлению ветра.

3.47 система сбора мощности (ВЭУ) [power collection system (wind turbines)]: Электрическая система. которая предназначена для приема выработанной электроэнергии от одной или более ВЭУ (она включает в себя все электрическое оборудование, расположенное между клеммами ВЭУ и точкой подключения к сети).

3.48 скорость ветра в точке вращающегося аетроколеса (rotationalty sampled wind velocity): Скорость ветра, который действует на выбранную фиксированную точку вращающегося ветроколеса ВЭУ.

Примечание — Спектр турбулентности ветра в выбранной точке вращающегося ветроколеса определенным образом отличается от нормального спектра турбулентности. Вращаясь, лопасть пересекает набегающий воздушный поток, который изменяется в пространстве. Поэтому результирующий спектр турбулентности содержит большое количество вариаций и гармоник, обусловленных частотой вращения.

3.49 скорость ветра выживания (survival wind speed): Популярное наэвакие предельно допустимой скорости ветра, заложенной при проектировании, которую конструкция должна выдержать.

Примечание — В настоящем стандарте эго выражение не используется, вместо этого используют понятие экстремальной скорости ветра согласно 3.71.

3.50 скрытый отказ (dormant failure): Отказ элемента или системы, который остается невыяаленным в течение нормальной эксплуатации.

3.51 сложный ландшафт (complex terrain): Окружающая территория, которая имеет существенные перепады рельефа и аэродинамические препятствия на поверхности земли, которые могут вызвать искажение воздушного потока.

3.52 состояние предельной прочности (ultimate limit state): Предельное состояние, которое, как правило, зависит от наибольшей несущей способности.

Электротехническая библиотека Elec.ru

3.53 среднее годовое (annual average): Среднее значение ряда измеренных данных, достаточ* кого объема и продолжительности, служащее для оценки ожидаемого значения рассматриваемого па* раметра: временной интервал осреднения должен представлять собой целое число лет. чтобы учесть сезонные изменения атмосферы.

3.54 среднее квадратическое отклонение турбулентных пульсаций скорости (turbulence standard deviation) <r_t: Среднее квадратическое отклонение продольной составляющей скорости ветра на высоте оси ветроколеса.

3.55 средняя годовая скорость ветра (annual average wind speed) V_{gve}: Скорость ветра, осредненная согласно определению среднегодового значения.

Примечание

Средняя скорость ветра за год в *конкретной* местности, *определяемая для заданной высоты над уровнем земной поверхности.*

[ГОСТ Р 51237-98. статья А.З}

3.56 средняя скорость ветра (mean wind speed): Среднее статистическое мгновенных значений скорости ветра, осредненных на заданном периоде времени, продолжительность которого может из* меняться от нескольких секунд до нескольких и даже десятков лет.

3.57 степенной закон для сдвига ветра (power law for wind shear): В соответствии с 3.7.

3.58 ступица (втулка) (ВЭУ) (hub (wind turbines)]: Устройство, с помощью которого осуществляет* ся фиксация лопастей ветроколеса или их сборочных единиц на валу ветроколеса.

3.59 тормоз (ВЭУ) (brake (wind turbines)]: Устройство, способное снижать скорость ветроколеса или останавливать его вращение.

Примечание — Тормоз может приводиться в действие аэродинамически, иметь механический или электрический привод.

3.60 точка подключения (ВЭУ) (network connection point (wind turbines)]: Кабельные муфты каждой отдельной ВЭУ. а для ветроэлектростанции — устройства, с помощью которых осуществляется соединение с шинами местной системы сбора мощности.

3.61 установка на ветер (рыскание) (yawing): Поворот оси ветроколеса относительно вертикальной оси (только для горизонтально-осевых 8ЭУ).

3.62 установка электрическая ветровая (ВЭУ) (wind turbine generator system (wind turbine)]: Ветроэнергетическая установка, которая преобразует кинетическую энергию ветра в электрическую энергию.

3.63 функции защиты (ВЭУ) (protection functions (wind turbine)]: Функции системы управления и защиты, которые гарантируют, что состояние ВЭУ и ее параметры останутся в пределах, определенных проектом.

3.64 функции управления (ВЭУ) (control functions (wind turbines)]: Функции систем управления и защиты, основанные на данных о состоянии ВЭУ ее элементов и/или окружающей ее среды, которые удерживают ВЭУ в заданных рабочих пределах.

3.65 характеристическое значение (characteristic value): Значение, имеющее установленную вероятность того, что оно не будет достигнуто (т. е. вероятность превышения меньше или равна установленному значению).

3.66 холостой ход (idling (wind turbines)]: Состояние ВЭУ при котором ее ВА медленно вращается, не производя электроэнергии.

3.67 циклы самовключения (auto-reclosing cycle): Событие с периодом времени, изменяющимся приблизительно от 0,01 с до нескольких секунд, в течение которых тормоз, освобожденный после сбоя в сети, автоматически повторно включается, и линия вновь подключается к сети.

3.68 частота вращения ветроколеса (ВЭУ) (rotor speed (wind turbines)]: Частота вращения ветроколеса относительно его оси.

Примечание

Угол, *проходимый лопастью ВК* за единицу *времени,* измеренный в оборотах в *единицу времени или* в *радианах.*

[ГОСТР 51237-98, *статья 3.3.3.9}*

3.69 шероховатость поверхности (roughness length) z_0: Экстраполированная высота, при которой средняя скорость ветра принимается равной кулю в предположении, что профиль скорости ветра по высоте подчиняется логарифмическому закону.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

3.70 экологические условия (условия окружающей среды) (environmental conditions): Параметры окружающей среды (скорость ветра, высота размещения, температура, влажность и прочие параметры), которые оказывают влияние на особенности функционирования ВЭУ.

3.71 экстремальная скорость ветра (extreme wind speed): Величина самой высокой скорости ветра, осредненной за период *1* с, с ежегодной вероятностью превышения 1/W («период повторяемости» — Л/лет).

П р и м е ч а н и е — В настоящем стандарте периоды повторяемости *N* - 50 лет и *N* ■ 1 год и интервалы времени, для которых определяется среднее значение, составляют f = 3 с и / = 10 мин. Часто используется широко известный, но менее точный термин — «скорость выживания». В настоящем стандарте при проектировании ВЭУ используются экстремальные скорости ветра для определения расчетной нагрузки.

3.72 эксплуатационные пределы (operating limits): Набор условий, определяемых проектировщиком ВЭУ. которые регулируют работу системы управления и защиты.

3.73 электрическая силовая сеть (electrical power network): Совокупность отдельных установок, подстанций, линий электропередачи или кабелей, предназначенная для передачи и распределения электроэнергии.

П р и м е ч а н и е — Границы различных частей этой сети определяются в соответствии с выбранными критериями. например географическим расположением, правами собственности, уровнями напряжения и т. д.

3.74 электрическая система ВЭУ (wind turbine electrical system): Совокупность электрическою оборудования, установленною внутри ВЭУ. в том числе ее клеммы, устройства заземления, заземляющие перемычки и средства связи (провода заземления, предназначенные для заземления электрической сети ВЭУ. также входят в электрическую систему ВЭУ).

4 Обозначения и сокращения

4.1 Обозначения

C	масштабный параметр функции Вейбулла	м/с
C_{cm}	коэффициент, учитывающий характеристики турбулентности, порожденной сложным ландшафтом	
C_7	коэффициент, учитывающий влияние аэродинамического следа на воздушный поток перед ветроколесом	
$C_{оЛ}$	функция когерентности	
D	диаметр ветроколеса	
f	частота	
f_d	проектная расчетная величина прочности материала	Н
f_k	нормативная величина прочности материала	Н
F_a	проектная расчетная величина суммарной внутренней нагрузки	Н
F_h	нормативная величина нагрузки	Н
/ ,	расчетное значение интенсивности турбулентности воздушного потока при средней скорости ветра 15 м/с, определенной на 10-минутном интервале на высоте оси ветроколеса	Н
$1_{o1(}$	эффективная интенсивность турбулентности	Н
к	параметр формы функции распределения Вейбулла	Н
K	модифицированная функция Бесселя	Н
L	интегральный масштаб изотропной турбулентности	м
L,	масштаб когерентности	м
L_k	интегральный масштаб, определенный для к-й составляющей вектора скорости	м
m	показатель степени в формуле Веллера	Н
л,	подсчитанное число усталостных циклов в /-и выборке нагрузки	Н

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Щ.)	число циклов до разрушения как функция напряжения (или деформации) для уха* эанкого аргумента (т. е. характеристическая кривая S-/V)	[-]
N	период повторяемости экстремальных ситуаций	год
p	вероятность выживания	[-]
Pfi(V₀)	вероятностная функция распределения Рэлея, т. е. вероятность того, что $V < У_0$	[-]
$P_W(V_0)$	вероятностная функция распределения Вейбулла	[-]
г	величина проекции вектора разделения	м
s,	уровень напряжения (деформации), зависящий от подсчитанного числа циклов в *i-й* выборке	[-]
S,(0	спектральная плотность энергии продольной составляющей турбулентных пульсаций	м²/с
S*	одномерный спектр составляющей вектора скорости	м²/с
Г	собственное значение времени порыва	с
t	время	с
V	скорость ветра	м/с
V{2)	скорость ветра на высоте *г* над уровнем земли	м/с
V_{av9}	среднее значение скорости ветра	м/с
V_{C9}	величина экстремального когерентного порыва на всей площади, ометаемой ветроколесом	м/с
V_{cN}	ожидаемая экстремальная скорость ветра (средняя за три секунды) с периодом повторяемости *N* лет, и V_{eS0} — с периодами повторяемости 1 год и 50 лет соответственно	м/с
V_{gusl}	величина скорости порыва ветра на высоте оси ветроколеса	м/с
$У_{Лоb}$	скорость набегающего воздушного потока на высоте оси ветроколеса	м/с
	минимальная рабочая скорость ветра	м/с
V_0	предельная величина скорости ветра в модели распределения скорости ветра	м/с
	максимальная рабочая скорость ветра	м/с
V,	номинальная скорость ветра	м/с
V_{nf}	расчетная скорость ветра	м/с
V(yj:,t)	продольная составляющая вектора скорости, определяющая переходный процесс для горизонтального сдвига	м/с
V(2.f)	продольная составляющая вектора скорости, определяющая переходный процесс при экстремальном порыве и сдвиге ветра	м/с
x. у. г	координаты системы, использующиеся для описания векторного поля скоростей: вдоль ветра (продольных), поперек ветра (боковых) и по высоте (нормальных) соответственно	м
z_{hub}	высота оси ветроколеса над поверхностью земли	м
z,	базовая высота над уровнем земли	м
$г_0$	параметр шероховатости подстилающей поверхности для построения погарифмического профиля ветра	м
a	показатель степени для функции, описывающей профиль ветра	
Р	параметр в модели экстремального изменения направления	
5	коэффициент вариации	
Г	гамма-функция	
Y_f	парциальный коэффициент безопасности по нагрузкам	
y_m	парциальный коэффициент безопасности для материала	

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Y„ парциальный коэффициент безопасности, учитывающий последствия отказа

в<0	переходный процесс изменения направления ветра	град
в<ф	угол максимального отклонения от направления средней скорости ветра в случае порыва	град
в,	величина экстремального изменения направления ветра	град
Л,	продольный масштаб турбулентности воздушного потока, определенный как длина волны, при которой безразмерная спектральная плотность энергии продольной составляющей скорости /S,(/)/<*? равна 0,05	м
	расчетное среднее квадратическое отклонение турбулентности набегающего воздушного потока	м/с
- c&et	эффективное расчетное среднеквадратическое отклонение турбулентности набегающего воздушного потока	м/с
	среднее квадратическое отклонение турбулентности в аэродинамическом следе	м/с
* cm	максимальное среднее квадратическое отклонение турбулентности в центре аэродинамического следа на оси ветроколеса	м/с
^ a	среднее квадратическое отклонение расчетного среднего квадратического отклонения турбулентности набегающего воздушного потока	м/с
о,	среднее квадратическое отклонение продольной составляющей скорости ветра	м/с
0_2	среднее квадратическое отклонение боковой составляющей скорости ветра	м/с
0_3	среднее квадратическое отклонение нормальной составляющей скорости ветра	м/с
E{)	ожидаемая величина параметра в скобках	
Var( )	вариация параметра в скобках	

4.2 Сокращения

А	(А)	аварийный (при определении коэффициентов безопасности)
ВЭУ		ветроэнергетическая установка
МЭВ	(EWM)	модель экстремальной скорости ветра
Н	(N)	нормальный случай нагружения (для парциальных коэффициентов безопасности)
НМТ	(NTM)	модель нормальной турбулентности
нпв	(NWP)	модель нормального профиля ветра
пен	(DLC)	проектный случай нагружения
У	(F)	усталостное нагружение
эин	(EDC)	экстремальное изменение направления
экн	(ECD)	экстремальный когерентный порыв с изменением направления
эмт	(ETM)	экстремальная модель турбулентности
ЭРП	(EOG)	экстремальная величина порыва рабочего состояния
эсв	(EWS)	экстремальный сдвиг воздушного потока
S	S	специальный класс безопасности
т	<Т)	нагрузки при транспортировании и возведении
п	(U)	предельные нагрузки
мс		*метеорологическая станция*
мнш		*метод независимых штормов*
пос		*проект организации строительства*
ППР		*проект производства работ*
СГЭЭ		*система генерирования электроэнергии*
ССБТ		*система стандартов* безопасности *труда*
епм		*система передачи мощности*

П р и м е ч а н и е — В настоящем модифицированном стандарте *не используются сокращения, присутствующие е английской* версии *документа:*

a.c. alternating current переменный ток

d.c. direct current постоянный ток.

так как в техническом русском языке такие сокращения не приняты.

Электротехническая библиотека Elec.ru

5 Основные положения

5.1 Общие требования

Технические условия и требования для обеспечения надежности конструкции, механических, электрических систем и системы управления ВЭУ приведены в перечисленных ниже разделах. Данное подробное описание требований относится к проектированию, производству, строительству, руководствам по эксплуатации и техническому обслуживанию ВЭУ и связанному с этим процессу обеспечения качества. В данном стандарте учтены также требования безопасности, полученные в результате опыта строительства, эксплуатации и технического обслуживания ВЭУ.

5.2 Методология проектирования

Для определения расчетных нагрузок должно быть использовано структурное динамическое моделирование. которое должно использоваться для определения нагрузок, возникающих под воздействием ветра в заданном диапазоне скоростей, учитывать турбулентность воздушного потока, прочие характеристики ветра, определенные в разделе €. и проектные состояния конструкций, описанные в разделе 7. Должны быть рассмотрены все характерные комбинации внешних воздействий и проектных состояний. Минимальный набор таких комбинаций определен в данном стандарте как «Варианты нагружения».

Данные полномасштабных испытаний ВЭУ рекомендуется использовать для увеличения степени надежности проектных параметров и величин, а также для подтверждения соответствия структурных динамических моделей и проектных состояний.

Подтверждение соответствия конструкции рекомендуется выполнять расчетами и/или испытаниями. Если результаты испытаний используются для такого подтверждения, то величины факторов окружающей среды, наблюдающиеся в процессе испытаний, должны быть представлены в документации для отражения их влияния на характерные значения параметров и проектные состояния, установленные в настоящем стандарте. Выбор проверяемых условий, включая контрольные нагрузки, должен учитывать соответствующие коэффициенты безопасности.

5.3 Классы безопасности ВЭУ

ВЭУ должны быть спроектированы в соответствии с одним из двух приведенных ниже классов безопасности:

• нормальный класс безопасности применяется тогда, когда отказ оборудования ВЭУ связан с риском нанесения телесного повреждения или может привести к социальным или экономическим последствиям;

• специальный класс безопасности применяется тогда, когда требования безопасности определяются в соответствии с местными нормативными актами и/или требованиями безопасности, которые согласованы между изготовителем и заказчиком.

Парциальные коэффициенты безопасности для ВЭУ нормального класса безопасности, определены в 7.6 настоящего стандарта.

Парциальные коэффициенты безопасности для ВЭУ специального класса безопасности должны быть согласованы между изготовителем и заказчиком. ВЭУ. спроектированная в соответствии со специальным классом безопасности, является ВЭУ класса S. как это установлено в 6.2.

5.4 Качество ВЭУ

Качество ВЭУ является интегральным показателем и обеспечивается на этапах проектирования, закупок, производства, поставки, возведения, эксплуатации и технического обслуживания как ВЭУ, так и всех ее компонентов.

Система обеспечения качества должна соответствовать *требованиям ГОСТ Р ИСО 9001 и ГОСТ РИСО 9004*

5.5 Маркировка ВЭУ

Каждая ВЭУ должна иметь маркировку. Маркировка должна быть выполнена четко и разборчиво несмываемой краской на хорошо видной части ВЭУ. Минимальный объем указываемой информации:

• страна и фирма-изготовитель ВЭУ;

- модель и серийный номер изделия:

• климатическое исполнение:

• дата изготовлений;
• номинальная мощность:
• базовая скорость ветра V_{nl}, м/с:
• рабочий диапазон скорости ветра на уровне оси ветроколеса V_b - V^, м/с:
• рабочий диапазон температур;
• класс безопасности 6ЭУ в соответствии с таблицей 1;
• номинальное напряжение и ток на клеммах ВЭУ с указанием диапазонов;
• частота тока на клеммах ВЭУ или диапазон изменения частоты, если номинальное отклонение превышает 2 %.

В числе *дополнительных данных следует указать:*
- *максимальную массу башни:*
- *максимальную высоту оси ветроколеса:*
• предельно *допустимую скорость ветра:*
• *ометаемую площадь ветроколеса.*
• *количество лопастей:*
- *длину лопасти.*

Примечание — Данная информация *необходима для организации работ* по *транспортированию и* возведению *ВЭУ.*

Маркировка ВЭУ. предназначенных для установки в районах *Крайнего Севера и труднодоступных районах,* должна *учитывать положения ГОСТ 15846.*

6 Факторы окружающей среды

6.1 Основные положения при учете факторов окружающей среды

Факторы внешней окружающей среды, описанные в данном разделе, должны быть учтены при проектировании ВЭУ.

На ВЭУ воздействуют факторы окружающей среды и электрические нагрузки, которые влияют на процессы нагружения элементов конструкции и отражаются на сроке службы и процессе ее эксплуатации. Для обеспечения надлежащего уровня надежности и безопасности в процессе проектирования необходимо учесть факторы окружающей среды, режимы электрических нагрузок и характеристики грунтов, которые должны быть детально изложены в проектной документации.

Факторы окружающей среды подразделяются на режимы ветра и прочие факторы. Электрические режимы обусловлены режимами сети подключения. Характеристики грунтов учитываются при проектировании фундаментов ВЭУ.

Каждый вид факторов окружающей среды подразделяется на нормальный и экстремальный. Нормальные факторы главным образом затрагивают процессы повторно-периодического нагружения элементов конструкции, в то время как экстремальные факторы представляют редкие проектные состояния. Проектные случаи нагружения должны состоять из потенциально опасных комбинаций этих факторов с режимами эксплуатации ВЭУ и другими проектными случаями.

Структурная целостность ВЭУ в первую очередь зависит от режимов ветра. Прочие факторы окружающей среды также влияют на конструктивные особенности ВЭУ, такие как функции системы управления. срок службы, процессы коррозии и так далее.

Нормальные и экстремальные факторы, которые должны быть рассмотрены при проектировании ВЭУ в соответствии с классом ее безопасности, установлены в приведенных ниже подпунктах.

Выбор ВЭУ для конкретной площадки размещения на местности должен *быть произведен на* основе проверки соответствия *технических характеристик ВЭУ ветровым режимам и прочим факторам окружающей среды, характерным для данной площадки.*

6.1.1 Климатическое исполнение ВЭУ

При классификации ВЭУ необходимо учитывать климатическое исполнение.

Оборудование ВЭУ отечественного производства должно быть *изготовлено в климатическом* исполнении: *У. УХЛ и Т. категорий размещения 1. 1.1, 2 и 2.1 по ГОСТ 15150.*

По ГОСТ Р 51991 ВЭУ должны допускать в процессе эксплуатации воздействия:

• *дождя интенсивностью 3 мм/мин для установок и агрегатов исполнений У и УХЛ. интенсивностью 5 мм/мин — для исполнения Т:*

- *снега, росы. инея, града и гололеда для установок и агрегатов исполнений У и УХЛ:*

Электротехническая библиотека Elec.ru

• *солнечной* радиации с расчетной *интегральной поверхностной плотностью* теплового *потока (верхнее* рабочее *значение) до 1125 Вт/м²:*

• *соляного тумана и плесневых* гробов *для исполнения Т:*
• *воздуха запыленностью не более 2,5 г/м⁵ для* исполнений *У. УХЛ. Т:*
• *ветра скоростью при двухминутном порыве не менее 50 м/с:*
• *температуры воздуха, не менее:*
• *минус 50 'С — для ВЭУ* исполнения *УХЛ:*
- *минус 30 *С — для ВЭУ исполнения У:*
• *минус 10 *С —* для *ВЭУ* исполнения *Т.*

П р и м е ч а н и е — При гололеде *допускается останов ветроагрегата для* удаления льда.

ВЭУ допускается размещать над уровнем *моря до 2000 м. Значения снижения мощности за счет изменения плотности* воздуха должны *быть указаны* в *технических условиях и инструкциях по эксплуатации ВЭУ конкретных типов.*

6.2 Классы ВЭУ

Параметры окружающей среды, которые должны быть рассмотрены при проектировании ВЭУ. зависят от предполагаемой площадки размещения или типа площадки для установки ВЭУ.

Классы ВЭУ определяются скоростью ветра, параметрами, описывающими турбулентность, и требованиями надежности.

Приведенная в стандарте классификация ВЭУ учитывает большинство случаев, возникающих в практике проектирования. Значения скоростей ветра и параметров турбулентности, приведенные в таблице 1. являются базовыми для группового описания площадок, соответствующих каждому классу ВЭУ.

Определение принадлежности ВЭУ к определенному классу осуществляется в соответствии с проектными интервалами скоростей ветра и параметрами турбулентности. Каждый класс ветроагрегатов применим к широкому спектру площадок, имеющих скорости ветра и параметры турбулентности, соответствующие значениям рассматриваемого класса. В таблице 1 представлены величины базовых параметров, которые определяют принадлежность ВЭУ к классу I. II. Ill или S. В том случае, когда выявлено наличие более жестких режимов ветра, чем зто предусмотрено в таблице 1. или требуется обеспечение специальных условий безопасности согласно 5.3, а *также расширение температурных интервалов эксплуатации,* необходимо назначить класс безопасности S.

Проектные параметры ВЭУ для класса S должны быть выбраны проектировщиком и отражены в проектной документации. Для таких случаев величины параметров, выбранные для проектирования ВЭУ. должны быть не менее жесткими, чем ожидаемые параметры внешней окружающей среды.

ВЭУ. имеющие параметры в соответствии с классами I, II и III, не предназначены для размещения в море или в зонах тропических штормов, ураганов, циклонов и тайфунов. Для перечисленных условий должны быть использованы ВЭУ класса S.

Т а б л и ц а ! — Расчетные параметры классов ВЭУ¹)

Класс ВЭУ	1	II	III	S
	50	42.5	37.5	Значения расчетных параметров назначаются проектировщиком
A /„,<-)	0.16			
в	0.14			
c >„,{■)	0.12			

Значения параметров приведены к оси ветроколеса.

I. II. Ill — нормальные классы 8ЭУ;

S — специальный класс:

A — подкласс ВЭУ для повышенной турбулентности:

B — подкласс ВЭУ для умеренной турбулентности;

C — подкласс ВЭУ для низкого уровня турбулентности;

Средняя годовая скорость ветра в денной редакции стандарта более не приводится в таблице 1 в качестве базового параметра для классификации ВЭУ. Средние годовые значения скоростей ветра для проектирования ВЭУ. соответствующие указажым классам, определяются в соответствии с выражением (9).

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

расчетное значение интенсивности турбулентности воздушного потока при средней скорости 15 м/с. определенной на 10-минутном интервале, на высоте оси ветроколеса.

Для полной характеристики внешних условий, используемых при проектировании ВЭУ нормальных классов (в соответствии с таблицей 1 от 1_A до $///_c$). должны быть дополнительно использованы параметры. величины которых установлены в пунктах 6.3. 6.4,6.5 настоящего стандарта.

Срок службы ВЭУ нормальных классов — не менее 20 лет.

Для ВЭУ класса S производитель в проектной документации должен привести описание примененных моделей и указать величины проектных параметров. Если приняты модели, описанные в л. 6 настоящего стандарта, то достаточно указать величины параметров. Проектная документация ВЭУ класса S должна содержать данные, перечисленные в приложении А настоящего стандарта.

Сокращения, приведенные в заголовках остальных подпунктов данного раздела, используются для описания режимов ветра для проектных случаев нагружения, определенных в 7.4.

6.3 Режимы ветра

ВЭУ должна обеспечивать надежное и безопасное функционирование при режимах ветра, соответствующих выбранному классу.

Расчетные параметры режимов ветра должны быть подробно отражены в проектной документации ВЭУ.

Режимы ветра для обеспечения безопасности и определения силового воздействия на элементы конструкции ВЭУ разделяются на нормальные режимы ветра, которые часто случаются в течение нормальной эксплуатации ВЭУ. и экстремальные режимы ветра, которые имеют периоды повторяемости 1 год и 50 лет.

Режим ветра определяется сочетанием постоянного осредненного воздушного потока с переменным расчетным профилем порыва ветра или с турбулентностью. Во всех случаях должно быть рассмотрено влияние отклонения осредненного потока (далее средний поток) относительно горизонтальной плоскости до *8°*. Этот угол отклонения потока принимается постоянным по высоте.

Выражение «турбулентность» обозначает среднюю величину случайных изменений скорости ветра в течение 10 мин. В том случае, когда используется модель турбулентности, она (модель турбулентности) должна учитывать изменения скорости ветра, сдвигов и направления и позволять выполнение статистической выборки в меняющихся сечениях. Три составляющие вектора, описывающие турбулентность. определяются как:

• продольная составляющая — по направлению средней скорости ветра;

- боковая составляющая — горизонтально и перпендикулярно к продольной составляющей;

- нормальная составляющая — перпендикулярно к продольной и боковой составляющим, т. е. имеет отклонение от вертикали на угол отклонения среднего потока.

Для нормальных классов ВЭУ спектральная плотность мощности векторного поля скоростей ветра. используемая в модели турбулентности, должна удовлетворять следующим условиям:

а) среднее квадратическое отклонение продольной составляющей скорости ветра о,, м/с. принимается постоянным по высоте и определяется в 6.3.1.3.6.3.2.1.6.3.2.3; составляющие, перпендикулярные к среднему направлению воздушного потока, должны иметь следующие наименьшие характерные отклонения[21]:

- боковая составляющая: $\sigma_2 \ge 0.7\sigma_1$;

• нормальная составляющая: $\sigma_3 \ge 0.5\sigma_1$;

б) продольный масштаб турбулентности воздушного потока л, на высоте оси ветроколеса г выражается зависимостью:

$$\Lambda_1 = \begin{cases} 0.7z & z \le 60\ m \\ 42\ м & z \ge 60\ m \end{cases} \qquad (5)$$

В зависимости от частоты в инерционной области (высокая частота) спектральные плотности энергии трех ортогональных составляющих S,(/). S_2{/). S_3(0 . м^с. должны постепенно приближаться к функциям:

$$S_1(f) = 0{,}05\sigma_1^2 (\Lambda_1 / V_{hub})^{-2/3} f^{-5/3}, \qquad (в)\ * 2$$

В нестоящем стандарте $I_n f$ определяется как среднее значение, а не как характерное.

2> Действительные значения зависят от выбора модели турбулентности и требований раздела 6.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

$$Sn0-S_3(0 = |s,(f); \qquad (7)$$

в) допускается использовать общепризнанную модель для олисания когерентности, определяемую совокупной величиной взаимной спектральной плотности продольных составляющих вектора скорости, деленной на автослектральную функцию в пространственно удаленных точках плоскости, нормальной к продольному направлению.

Рекомендуется использовать универсальную модель Манна для турбулентности в потоке со сдвигом. которая удовлетворяет изложенным требованиям (приложение в). Другая часто используемая модель — модель Каймала. которая удовлетворяет этим требованиям, также приведена в приложении В.

Использование других моделей должно быть обосновано, так как выбор модели существенно влияет на величину проектных нагрузок.

6.3.1 Нормальные режимы ветра

6.3.1.1 Модель распределения скорости ветра

Выбор модели распределения скорости ветра оказывает существенное влияние на проектирование ВЭУ, потому что определяет частоту изменения нагрузок, действующих на элементы конструкции в нормальных проектных состояниях. Средняя величина скорости ветра на высоте оси ветре колеса, определенная на 10-минутном интервале, определена в соответствии с распределением Рэлея:

$$W_{u6}> = 1 - *M-n\{V_{hub}f2V_{avo}n \qquad (8)$$

где: скорость набегающего воздушного потока на высоте оси ветроколеса (для ВЭУ с горизонтальной осью вращения), м/с;

V_{arc} — среднее значение скорости ветра, м/с.

Для стандартных классов ВЭУ

$$= \qquad < \qquad 9)$$

6.3.1.2 Модель нормального профиля ветра (НП8)

Профиль ветра *V (г),* м/с. определяет среднюю схорость ветра в функции высоты *г.* м. над уровнем земли. Для стандартных классов ВЭУ нормальный профиль скорости ветра должен быть определен из уравнения:

Показатель степени а принимается равным 0.2.

Принятая модель профиля ветра используется для определения изменения средней скорости ветра по нормали в плоскости, ометаемой ветроколесом.

6.3.1.3 Модель нормальной турбулентности (НМТ)

Для модели нормальной турбулентности среднее квадратическое отклонение продольной составляющей скорости ветра на высоте оси ветроколеса для 90 %'> квантиля и стандартных классов ВЭУ дается выражением:

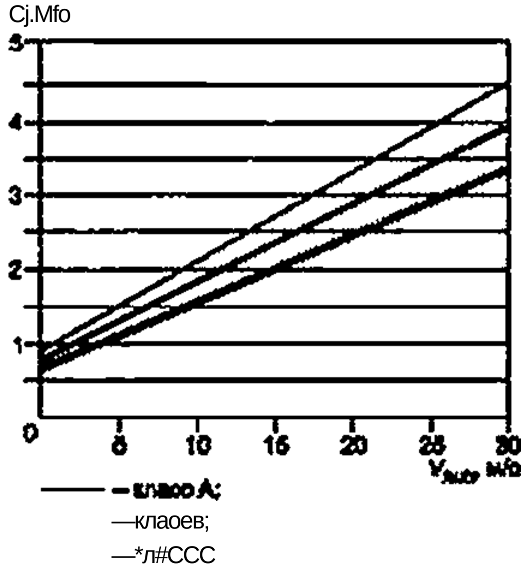
$$= Ы^{0-75^ + *}»; *> = 5\text{-}6 \text{ м/с}. \qquad (11)$$

Характерные зависимости для стандартного отклонения о,, м/с. и интенсивности турбулентности $о,/V_{h(/|>}$ показаны на рисунках 1а и 1Ь.

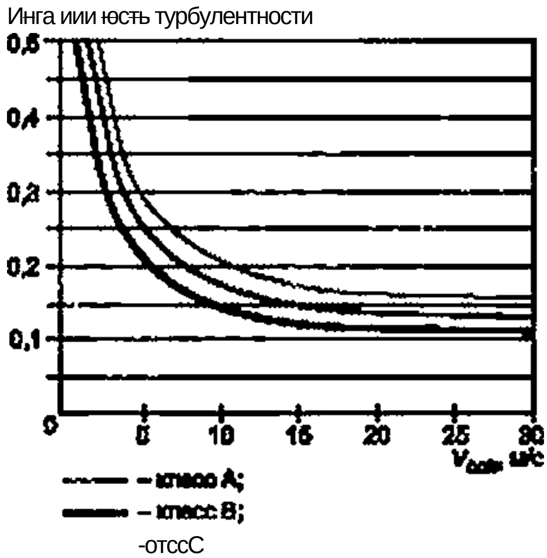
Если желательны другие квантили для дополнительных необязательных вычислений нагрузок, то для ВЭУ стандартных классов они могут быть аппроксимированы логарифмическим законом распределения.

$$^S W^{\circ}\text{-}^{75V**} + c>.c = 30Va M*,IV_{hut>}) = (1\text{^}1.4 \text{ м/с}))*.$$

Электротехническая библиотека Elec.ru



1а> Среднее квадратическое отклонение продольной составляющей скорости ветра для модели НМТ



1Ь) Интенсивность турбулентности для модели НМТ

Рисунок 1 — Модель нормальной турбулентности (НМТ)

6.3.2 Экстремальные режимы ветра

Экстремальные режимы ветра включают как процессы сдвига в потоке ветра, так и пиковые скорости при шторме, а также быстрые изменения скорости и направления ветра.

6.3.2.1 Модель экстремальной скорости ветра (МЭ8)

В качестве МЭВ допускается выбор как модели стационарного воздушного потока, гак и турбулентной модели ветра. Данные модели ветра должны быть основаны на $V_{,cf}$, м/с. — расчетной скорости ветра и фиксированном значении величины среднего квадратического отклонения о,. м/с.

В модели стационарного экстремального воздушного потока экстремальная скорость ветра, V_{e50}, м/с. с периодом повторяемости 50 лет. и экстремальная скорость ветра V_{el}. м/с. с периодом повторяемости 1 год, определяются в функции высоты z. м:

^50<2) = 1.4Ч$_{в}$^$_{ЛиЬ}$)°». (12)

$$v_{;,}(z) = 0.8v_{;60}(z). \quad (13)$$

В случае применения модели стационарного экстремального воздушного потока необходимо внести поправку на кратковременные отклонения воздушного потока от среднего направления. Поправка учитывается постоянным углом отклонения набегающего воздушного потока в диапазоне ±15°.

В турбулентной модели экстремального ветра средние скорости ветра на интервале в 10 мин определяются в функции *г* для периодов повторяемости 50 лет и 1 год соответственно:

ч-ю-мхХ <14>

V , = 0 . 8 V_{50}(z). {15)

величина среднего квадратического отклонения продольной составляющей*>:

°г0,11 V_{hub}. (16)

6.3.2.2 Экстремальная величина рабочего порыва (ЭРП)

Величина скорости порыва ветра на высоте оси ветроколеса V_{gust}[2]. м/с. с периодом повторяемости 50 лет для стандартною класса ВЭУ определяется следующей зависимостью:

$$\mathrm{Min}\left\{1{,}35\left(V_{e1}-V_{hub}\right);\ 3{,}3\left(\frac{\sigma_1}{1+0{,}1\left(\frac{D}{\Lambda_1}\right)}\right)\right\} \quad (17)$$

где о, — стандартное отклонение в соответствии с выражением (11). м/с;

л, — масштаб турбулентности в соответствии с выражением (5). м;

D — диаметр ветроколеса. м.

Скорость ветра должна быть определена уравнением:

для О й / й т (1В)

|V(z) для прочих случаев.

где *V(z)* определена в уравнении (10). м;

Т- 10.5 с.

Пример экстремального рабочего порыва (V_{hub} = 25 м/с. Класс IA. *D* - 42 м) показан на рисунке 2.

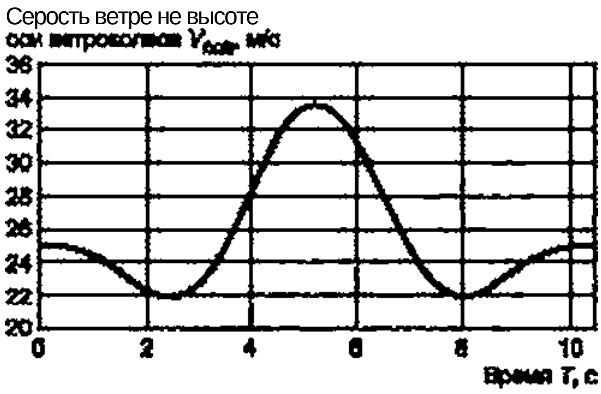


Рисунок 2 — Пример экстремального рабочего порыва

Среднее квадратическое отклонение для турбулентной модели экстремального ветра не относится к нормальной (НМТ) модели или модели экстремальной турбулентности (ЭМТ). Модель стационарного экстремального воздушного потока и турбулентная модель экстремального ветра связаны коэффициентом амплитуды, равным примерно 3.5.

** Величина скорости порыва ветра с периодом повторяемости 50 лет была выверена с учетом вероятности возникновения порыва во время пуска или останова ВЭУ.

6.3.2.3 Экстремальная модель турбулентности (ЭМТ)

Экстремальная модель турбулентности должна быть основана на модели нормального профиля ветра согласно 6.3.1.2. в которую внесена поправка, учитывающая турбулентность со средним квадратическим отклонением продольной составляющей о,, м/с, определенным уравнением:

о,- сЦ 0,07$_2$(^=. + з)(^ -4^ + 10 J; с = 2 м/с. (19)

6.3.2.4 Экстремальное изменение направления ветра (ЭИН)

Величину экстремального изменения направления 9$_в$. град, следует вычислять в соответствии с выражением:

$$9_в * \pm 4arctg \left(\frac{\sigma_1}{V_{hub}\left(1+0.1\left(\frac{D}{\Lambda_1}\right)\right)}\right). \qquad (20)$$

где вд — определяется выражением (11) для НМТ:

9, — ограничен интервалом ±160°. град;

Л, — масштаб турбулентности в соответствии с выражением (5). м;

О — диаметр ветроколеса, м;

Переходный участок процесса экстремального изменения направления 9(0. град, определяется выражением:

0 для Г£0

9(0 ±0.59$_е$(1-сов(я//Г)) для 0 S / S T . (21)

0$_в$ для f > T

где T = 6 с — продолжительность процесса экстремального изменения направления. Знак необходимо выбирать так. чтобы на переходном участке возникало наихудшее нагружение. Предполагается. что в конце процесса изменения направления оно остается неизменным. Поведение скорости ветра подчиняется модели нормального профиля ветра в соответствии с 6.3.1.2.

В качестве примера на рисунке 3 показано экстремальное изменение направления (подкласс турбулентности А) для ветроколеса диаметром *D* - 42 м с высотой оси 30 м для различных *V^*. Соответствующий переходный процесс для V_{hub} - 25 м/с показан на рисунке 4.

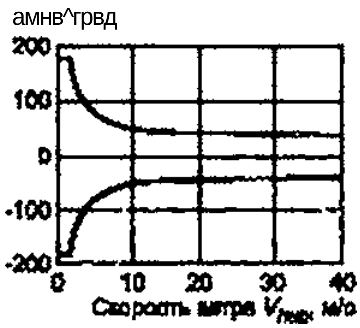


Рисунок 3 — Пример экстремальной величины изменения направления

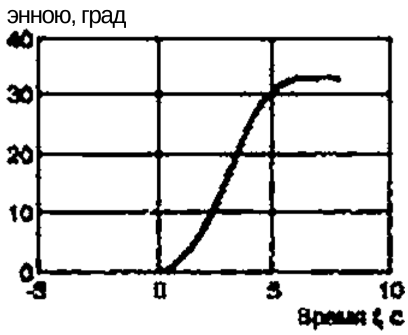


Рисунок 4 — Пример экстремального изменения направления

6.3.2.5 Экстремальный когерентный порыв с изменением направления ветра (ЭКН)
величина экстремального когерентного порыва с изменением направления ветра должна быть:

$$1\^ = 15 \text{ м/с}. \quad (22)$$

Скорость ветра определяется выражением:

$$V(z.t) \quad \begin{cases} V\{z\} & \text{для } Г<0 \\ V(z)+0.5V_{ср}(1\text{-сов}(л1/Г)) & \text{для } 0 5 Г 5 Г . \\ V\{z\} + V_{Q9} & \text{для } t>T \end{cases} \quad (23)$$

где Г = 10 с — время нарастания порыва ветра и скорость ветра V(2) определяется в соответствии с моделью нормального профиля скорости ветра в 6.3.1.2. Нарастание скорости ветра в течение экстре* мального когерентного порыва ветра показано на рисунке 5 для $V_{,,u|>}$ = 25 м/с.

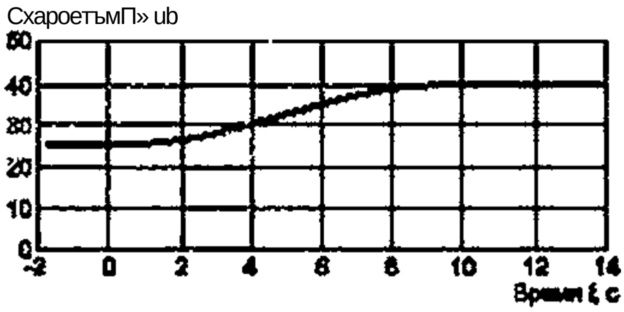


Рисунок 5 — Пример экстремального когерентного порыва с изменением амплитуды порыва для ЭКН

Предполагается, что нарастание скорости ветра происходит одновременно с изменением направ- ления от 0 до $в_{C9>}$ (рад. величина 0_{C9}. град, определяется выражением:

$$\begin{cases} 180^3 \text{ для } .0 \text{ м/с} \\ \frac{720°}{^vhub} \text{ для } 4{,}5\text{м/с}*У_{Ли1}, *V_{nl} \end{cases} \quad (24)$$

Одновременное изменение направления определяется выражением.

$$9(0 = \begin{cases} 0° & \text{для } t<0 \\ \pm O.50_{C9}(1\text{-c}^{os}(Rf/r)) & \text{для } O S f S T , \\ \pm 0_{e9} & \text{для } t>T \end{cases} \quad (25)$$

где Г = 10 с — время нарастания скорости ветра. 8 расчетах используется модель нормального про- филя скорости ветра.

Величина изменения направления 6^ и процесс изменения направления 6(0 показаны в зависи- мости от V_{hub} и в функции времени для $V\^_b$ - 25 м/с на рисунках 6 и 7 соответственно.

ЛМОММИ0
мвпреипьнияв^грвд

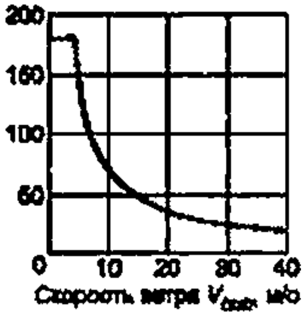


Рисунок 6 — Изменение направления для ЭКН

Изменение
нелревпет 9Mi град

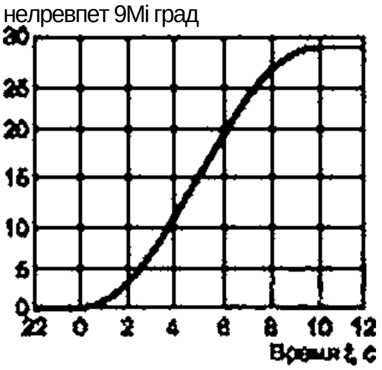


Рисунок 7 — Пример переходного процесса изменения направления

6.3.2.6 Экстремальный сдвиг воздушного потока (ЭСВ)

Экстремальный сдвиг воздушного потока определяется для следующих двух составляющих не* установившейся скорости воздушного потока:

Сдвиг (положительный и отрицательный) по вертикали для неустановившейся скорости:

V_{hub} $^c{hub}$ **Ит)** 2,5 м/с-* 0.200,1 " № \y4 (1 - cos(2n/T)J для 0 *й t й T*

(26)

'hub f Г Vhub) для /< 0 и Г> *T*

Сдвиг по горизонтали для неустановившейся скорости:

$$V(y,z,t)=\begin{cases} V_{hub}\left(\frac{z}{z_{hub}}\right)^{\alpha}\pm\left(\frac{y}{D}\right)\left(2{,}5\ м/с+0{,}2\beta\sigma_1\left(\frac{D}{\Lambda_1}\right)^{1/4}\right)(1-\text{oos}(2!tf/7)) & \text{для } 0 £ 1 £ 7* \\ V_{hub}\left(\frac{z}{z_{hub}}\right)^{\alpha} & \text{для } ?< 0 \text{ и } t> T \end{cases} \quad (27)$$

где для вертикального и горизонтального сдвига:

а =0.2; 0 = 6,4; Г = Т 2 с ;

о, — определяется выражением (11) для НМТ, м/с:

А, — масштаб турбулентности, в соответствии с выражением (5). м:

D — диаметр еетроколеса. м.

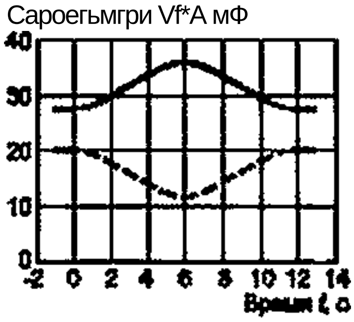
Знак для переходного процесса, описывающего сдвиг воздушного потока по горизонтали, должен быть выбран так, чтобы учесть худший случай нагружения. Эти два экстремальных сдвига предполагаются взаимно независимыми и поэтому нагрузки не воздействуют на ВЭУ одновременно.

---------- f l r w f » 0;
мд.. - для fXH»mr»bH0r»t= 712;
— - дли отри цвтльиого** Ш

ПрофИЛЬ МГТрИ ДО шншш яямя Q, цлрихмм линии)
и п{В» наибольшем «АВМ* ft * В СплОшнйв линий)

Рисунок 8 — Пример экстремального положительного и отрицательного вертикального сдвига ветра

Сароегьмгри Vf*А мФ



— МрХМй ТОЧИВ ОИфПИГСИГВ?
- нюшяя тхмвд автрОврлос*

Рисунок 9 — Пример скоростей ветра в верхней и нижней точках вегроколвса

На рисунке 8 показано экстремальное распределение воздушного потока по вертикали до начала воздействия (f = *0.* штриховая линия) и при максимальном сдвиге *(t-* 6 с. сплошная линия) (подкласс турбулентности А. $г_{buЬ}$ - 30 м, V_{hub} - 25 м/с, *D* - 42 м).

Рисунок 9 показывает скорости ветра в верхней и нижней точках ветроколеса, чтобы проиллюстрировать процесс развития сдвига ветра ео времени (условия, как для рисунка 8).

6.4 Прочие факторы окружающей среды

Прочие факторы окружающей среды также влияют на целостность конструкции ВЭУ и ее безопасность. К числу таких воздействий относятся: температурное, фотохимическое, коррозионное, механическое. электрическое и прочие физические и физико-химические воздействия. Комбинация перечисленных факторов может увеличивать результирующее воздействие.

Меры по снижению воздействия перечисленных ниже факторов должны быть отражены в проектной документации. Минимальный набор факторов окружающей среды, который должен быть учтен при проектировании:

• перепады температур;
- влажность:
• плотность воздуха;
• атмосферные осадки (дождь, град. снег. иней, гололед);
- атмосферные химически активные вещества;
• запыленность атмосферы (механические частицы);
• гроза;
• сейсмические процессы;
• соляной туман и *наличие плесневых* грибов *(для тропиков).*

8 случае необходимости данный перечень может быть расширен.

Для морских прибрежных условий факторы окружающей среды требуют дополнительного рассмотрения.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Климатические факторы, используемые при проектировании, должны быть представлены в виде кон* кретных величин, параметров или указаны пределы их изменения. При проектировании ВЭУ должна быть также учтена вероятность одновременного воздействия нескольких из перечисленных выше факторов.

Изменения климатических факторов в пределах нормы, соответствующие периоду повторяемо* сти один год. не должны вызывать нарушений нормального процесса эксплуатации ВЭУ.

Если взаимосвязь не существует, прочие экстремальные факторы окружающей среды в соответствии с 6.4.2 должны быть скомбинированы с факторами нормального режима ветра в соответствии с 6.3.1.

6.4.1 Прочие нормальные факторы окружающей среды

Величины прочих нормальных факторов окружающей среды, которые должны быть учтены при проектировании:

• интервал нормальных рабочих температур от ** 300 °С до ♦ 400 °С;

• относительная влажность воздуха до 95 %:

• чистота атмосферы соответствует незагрязненной атмосфере над сушей е *соответствии с ГОСТ Р 51991*:

• интенсивность солнечной радиации 1 000 Вт/м^2;

• плотность атмосферного воздуха 1.225 кг/м^3.

Если проектировщик указывает дополнительные внешние факторы, то параметры и их величины должны быть отражены в проектной документации и соответствовать требованиям *ГОСТР 51991.*

6.4.2 Прочие экстремальные факторы окружающей среды

К числу прочих экстремальных факторов окружающей среды, которые должны быть рассмотрены при проектировании ВЭУ. относятся: экстремальные перепады температур, гроза, обледенение и сейсмические процессы (расчет сейсмических нагрузок в соответствии с 11.6).

6.4.2.1 Экстремальные перепады температур

Для стандартных классов ВЭУ проектными значениями экстремальных перепадов температур являются интервалы как минимум от - *40* °С *до* + 50 °С.

6.4.2.2 Молниезащита ВЭУ

Условия защиты от грозовых разрядов, приведенные в 10.6 настоящею стандарта, являются до* статочными для исполнений ВЭУ нормального класса безопасности.

6.4.2.3 Гололед

Для ВЭУ нормального класса данное условие не рассматривается.

6.4.2.4 Учет сейсмичности площадки

Для ВЭУ нормального класса данный фактор не рассматривается. Для сейсмически опасных зон при проектировании ВЭУ должны быть учтены требования 11.6 настоящего стандарта и *СНиП[1].*

6.5 Влияние сети подключения

При проектировании ВЭУ должны быть рассмотрены нормальные условия, возникающие на кон* цевых кабельных муфтах ВЭУ. Параметры, являющиеся нормальными, должны находиться в следующих пределах:

• напряжение - номинальное значение ±10 %;

• частота - номинальное значение ±2%:

• асимметрия напряжений — изменение составляющей обратной последовательности фаз по от* ношению к составляющей прямой последовательности фаз не должно превышать 2 %;

• циклы автоматического повторного включения — период цикла первого автоматического повтор* ною включения от 0.1 с до 5 с. второго - от 10 с до 90 с:

• простои — количество отключений от сети — следует принять равным 20 в год. Нормальным следует считать отключение до 6 час[1]*, что соответствует продолжительности самой сильной грозы. Отключение продолжительностью до 1 недели должно рассматриваться как экстремальное условие.

7 Проектирование конструкции

7.1 Основные положения, реализуемые при проектировании

При проектировании конструкции ВЭУ должен быть обеспечен требуемый уровень безопасности, целостность конструкции и прочность ее несущих элементов в заданном диапазоне нагрузок. Для под*

Отключение продолжительностью шесть часов принято, исходя из продолжительности самой суровой части шторма.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

тверждения конструктивной целостности ВЭУ и обеспечения заданного уровня ее надежности должна быть проверена расчетами и/нли испытаниями предельная и усталостная прочность элементов кон* струкции.

При расчете конструкций должен использоваться ГОСТ 27.301.

Расчеты должны быть выполнены в соответствии с установленными в настоящем стандарте методами. Описание методов расчета должно быть изложено в проектной документации. Описания должны включать доказательства обоснованности использованных методов расчета или содержать ссылки на соответствующие исследования и документы. Степень нагружения при любом испытании на прочность должна соответствовать коэффициентам запаса, принятым для нормативных нагрузок согласно 7.6.

7.2 Методология проектирования конструкции ВЭУ

Оборудование и конструкция ВЭУ должны обеспечивать заданные режимы эксплуатации под воз* действием ветровых нагрузок, определенных классом принадлежности ВЭУ в соответствии с таблицей 1. соответствовать климатическим характеристикам территории размещения и прочим параметрам окружающей среды, перечисленным ниже. Результаты испытаний — граничных, климатических, механических. на прочность, на устойчивость или натурных испытаний опытных образцов — также допускается использовать вместо расчетов для подтверждения прочности конструкции.

7.3 Нагрузки, учитываемые в расчете

Нагрузки, описанные в 7.3.1—7.3.4. должны быть рассмотрены при проектировании.

7.3.1 Гравитационные и инерционные нагрузки

Гравитационные и инерционные нагрузки — это статические и динамические нагрузки, действующие на элементы конструкции ВЭУ и возникающие в результате вибрации, вращения, действия силы тяжести и сейсмической активности (или движения опорной конструкции).

7.3.2 Аэродинамические нагрузки

Аэродинамические нагрузки — это статические и динамические нагрузки, которые вызваны обтеканием воздушным потоком подвижных и неподвижных частей ВЭУ (в том числе башни и фундамента) и силовым взаимодействием воздушного потока с ними.

Процесс обтекания воздушным потоком зависит от частоты вращения ветроколеса. средней скорости воздушного потока, протекающего через площадь, ометаемую ветроколесом. турбулентности, плотности воздуха, аэродинамических профилей поверхностей ВЭУ и их взаимодействия с воздушным потоком, включая аэроупругие эффекты.

7.3.3 Эксплуатационные нагрузки

Эксплуатационные нагрузки возникают в процессе работы ВЭУ вследствие управляющих воздействий на элементы и системы ВЭУ. Они подразделяются по видам. Существуют нагрузки, возникающие в процессе регулирования частоты вращения ветроколеса путем изменения вращающего момента за счет поворота лопастей или с помощью других аэродинамических устройств. На ВЭУ воздействуют также усилия, развиваемые механическим тормозом, установленным в цепи привода, и переменные нагрузки, возникающие во время пуска и останова ветроколеса, а также нагрузки, вызванные включением — выключением генератора и рысканием.

8 любом случае важно при расчете характеристик, реакций и нагрузок учесть возможный диапазон изменения эксплуатационных нагрузок. В частности для механических тормозов при определении реакций и нагрузок в любом процессе торможения должен быть принят во внимание диапазон изменения тормозных характеристик, сил сжатия пружин или давления, поскольку они зависят от температуры. степени износа и старения.

7.3.4 Прочие виды нагрузок

8 расчетах должны быть также учтены нагрузки, если они обусловлены особыми условиями эксплуатации ВЭУ. например:

• нагрузки от волн (для ВЭУ. размещенных в море), аэродинамического следа, ударные, ледовые:

• нагрузки, возникающие при транспортировании, установке, монтаже, обслуживании и ремонте ВЭУ согласно 11.4.

7.4 Проектные случаи и варианты нагружения

Данный подпункт описывает расчетные варианты нагружения ВЭУ и устанавливает минимальное количество вариантов, которые должны быть рассмотрены при проектировании.

Электротехническая библиотека Elec.ru

При проектировании ВЭУ ставится иель рассмотреть все наиболее важные проектные ситуации, которые возникают в процессе жизненного цикла ВЭУ.

Варианты нагружения должны быть определены комбинированием событий, возникающих в процессе эксплуатации ВЭУ (или прочих ситуаций, возникающих, например, во время сборки, возведения или технического обслуживания), с факторами окружающей среды.

Все варианты нагружения, ожидаемые с достаточной степенью вероятности, должны быть рас* смотрены совместно с функционированием системы управления и защиты. Проектные варианты на* гружения, использующиеся для проверки структурной целостности ВЭУ. должны быть рассчитаны на основе комбинирования:

- нормальных проектных ситуаций с соответствующими нормальными или экстремальными факторами внешней среды;
- ситуаций отказа с соответствующими факторами внешней среды:
- проектных ситуаций транспортировки, установки и технического обслуживания с соответствующими факторами внешней среды.

Если существует взаимосвязь между экстремальным фактором внешней среды и ситуацией отказа. то комбинация этих двух событий должна рассматриваться как реальный проектный вариант нагружения и учтена в расчетах.

Каждая проектная ситуация требует рассмотрения нескольких вариантов расчетного нагружения. Минимальное количество расчетных вариантов нагружения приведено в таблице 2. В этой таблице варианты расчетного нагружения определены для каждой проектной ситуации в соответствии с режимами ветра, электрическими нагрузками и прочими факторами внешней среды.

Если система управления предусматривает в процессе проектного варианта нагружения, описываемого заданной моделью ветра, контролируемый останов до момента достижения максимального угла рыскания и/или скорости ветра, то должно быть показано, что ВЭУ обеспечивает надежное выполнение останова при воздействии турбулентности с теми же самыми определенными изменениями параметров ветра.

Для ВЭУ. имеющих конструктивные особенности, с целью обеспечения целостности конструкции должны быть рассмотрены соответствующие случаи проектного нагружения.

В таблице 2 для каждого случая расчетной нагрузки установлен соответствующий вид расчета. «У» относится к случаям усталостного нагружения и обозначает расчет на усталостную прочность. «П» относится к расчетам по предельным нагрузкам и связан с прочностными характеристиками материалов. деформациями, устойчивостью элементов конструкции.

Т а б л и ц а 2 — Варианты расчетного нагружения

Проектная ситуация	пен	Режим ветра	Прочие условия	Вид рас- kets	Парциальный коэффициент безопасности
1 Выработка электроэнергии	1.1		Для экстраполяции экстремальных событий	П	Н
	1.2	НМТУ$_ь$<У$_{АиЬ}$<У$_{ои}$,		У	•
	1.3	$3WV_{ia}<V_{tnjb}<V_{oul}$		п	Н
	1.4	ЭКИ - V_f - 2 м/с V_r V_t*2 м/с		п	Н
	1.5	ЭСВУ$_и$<У$_{АиЬ}$<У$_{00|}$		п	**Н**

Электротехническая библиотека Elec.ru

Окончание таблицы 2

Проектная ситуация	пен	Режим ветра	Прочие условия	Вид рас-чета	Парциаль-ный коэф-фициент безопас-ности
2 Выработка элехтроэнергюг в сочетании с отказом	2.1		Отказ в системе управ-ления или потеря элек-трической нагрузки	П	Н
	22		Система защиты или предшествующий отказ внутренней электриче-ской сети	П	А
	2.3	ЭРПУ$_{Л(Л}$ = У,±2м/с и V*,	Отказы в системе упраа-пешя. защиты, электри-ческой сети, включая потерю электрической нагрузки	п	А
	2.4	Н М Т I^K I^K V^		У	в
3 Включение	3.1	Н n В V$_{t o}$ < V$_{f c}$4<V'$_{erf}$		У	•
	3.2	Э Р П У^- 1^*2 м/с.		п	н
	3.3	ЭИН V_{hub} = V, ± 2 м/с.		п	н
4 Нормальный останов {пол контролем системы управле-ния)	4.1	нпв^<1/$_{Лиь}$<у$_0$,		У	ф
	4.2	ЭРП = v, ± 2 м/с		п	н
5 Аварийный останов	5.1	НМТ У$_{Лiь}$ = V, ± 2 м/с		п	н
6 Парковка (холостой ход)	6.1	МЭВ 50-летний период повторяемости		п	н
	6.2	МЭВ 50-летний период повторяемости	Отсоединение от сети	п	А
	6.3	МЭВ период повторяе-мости 1 год	Экстремальное рассо-гласование угла рыска-кия	п	Н
	6.4	Н М Т V^K О .7$У_{Ы}$		У	*
7 Парковка в сочетании с от-казом	7.1	МЭВ период повторяе-мости 1 год		п	А
8 Транспортирование, сбор-ка. техническое обслужива-ние и ремонт	8.1	НМТ лопжна быть определена про-изводителем		п	Т
	6.2	МЭВ период повторяе-мости 1 год		п	А

Сокращения, использованные е таблице 2

ПСН — проектный случай нагружения;

НМТ — модель нормальной турбулентности по 6.3.1.3;

ЭМТ — экстремальная модель турбулентности по 6.12.3;

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

ЭКН — экстремальный когерентный порыв с изменением направления по 6.3.2.5;
ЭСВ — экстремальный сдвиг фрагмента воздушного потока по 6.3.2.6;
ЭРП — экстремальная величина рабочего порыва по 6.3.2.2;
ЭИН — экстремальное изменение направления по 6.3.2.4:
НПВ — модель нормального профиля ветра по 6.3.1.2;
МЭ8 — модель экстремальной скорости ветра по 6.3.2.1;
У — расчет на усталостную прочность по 7.6.3;
Н — нормальный;
А — аварийный:
Т — транспортирование/монтаж:
П — расчет по предельным нагрузкам по 7.6.2;
V, ± 2 м/с — должны быть произведены расчеты для всех скоростей установленного диапазона;
— парциальный коэффициент безопасности по 7.6.3.

В процессе проектирования должны быть рассмотрены скорости ветра из диапазонов, установленных в таблице 2. приводящие к самому опасному случаю нагружения ВЭУ. Диапазон скоростей ветра рекомендуется представлять рядом дискретных величин с интервалами, обеспечивающими необходимую точность вычислений[1]'. При определении вариантов расчетного нагружения сделана ссылка на режимы ветра, описанные в разделе 6.

Варианты расчетного нагружения, обозначенные «П». подразделяются на нормальные (Н), аварийные (А) и транслортные/монтажные (Т). 8 данном стандарте принято, что нормальные варианты расчетной нагрузки воздействуют на ВЭУ часто в течение ее жизненного цикла. Считается, что ВЭУ в процессе эксплуатации находится в нормальном рабочем состоянии. Допускаются незначительные отказы или поломки. Возникновение аварийной проектной ситуации рассматривается как более редкое событие. Аварии обычно связаны с ситуациями возникновения серьезных отказов, которые приводят к активации функций системы защиты. Вид проектной нагрузки (Н. А. или Т) определяет величину парциального коэффициента безопасности у, для расчета предельной нагрузки. Эти коэффициенты приведены в таблице 3.

7.4.1 Проектный случай нагружения элементов конструкции ВЭУ при выработке электроэнергии (ПСН 1.1—1.5)

В данном проектном случае рассматривается режим: ветроколесо вращается. ВЭУ работает и подключена к электрической нагрузке. В расчетной схеме следует учесть дисбаланс ветроколеса. Максимальный дисбаланс массы ветроколеса и аэродинамическая неуравновешенность (например, шаг лопастей и различие их углов поворота), указанные производителем, должны быть учтены в расчетах.

При расчетах эксплуатационных нагрузок должны быть приняты во внимание и отражены в расчетах отклонения от оптимальных теоретических эксплуатационных ситуаций, например, рассогласование углов рыскания и ошибки системы управления при выполнении функции слежения.

Проектные случаи нагружения (ПСН) 1.1 и 1.2 включают нагрузки, исходя из турбулентности атмосферы. которая сопровождает процесс нормальной эксплуатации ВЭУ в течение срока ее службы (НМТ).

ПСН 1.3 включает требования к предельным нагрузкам, которые обусловлены экстремальными параметрами турбулентности. ПСН 1.4 и 1.5 относятся к переходным процессам, которые были отобраны как потенциально опасные ситуации, возникающие в процессе эксплуатации.

Статистические расчеты данных моделирования ПСН 1.1 должны включать как минимум расчеты экстремальных значений изгибающих моментов, возникающих в привтулочнои части лопасти, и величину изгиба на вершине лопасти ветроколеса. Если экстремальные проектные величины этих параметров меньше экстремальных проектных величин, полученных для ПСН 1.3. дальнейший анализ ПСН 1.1 может быть опущен.

Если экстремальные проектные величины этих параметров не превышены экстремальными проектными величинами, полученными для ПСН 1.3, то параметр *c* в уравнении (19) для экстремальной

'* В большинстве случаев приемлемы интервалы 2 м/с.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

модели турбулентности е ПСН 1.3. рекомендуется увеличить для выполнения условия равенства или превышения экстремальных проектных величин параметров, вычисленных в ПСН 1.1 экстремальными проектными величинами в ПСН 1.3.

7.4.2 Проектный случай нагружения элементов 8ЭУ при выработке электроэнергии в сочетании с отказами или потерей электрической сети (ПСН 2.1—2.4)

8 данной проектной ситуации должны быть рассмотрены переходные процессы, вызванные отказом или потерей электрической сети во время производства ВЭУ электроэнергии, важным событием для нагружения ВЭУ. подлежащим рассмотрению, является любой отказ в системе управления и защиты или отказ в собственной электрической цепи (например, короткое замыкание в цепи генератора). Для ПСН 2.1 возникновение отказа, связанного с выполнением функций управления, или потеря связи с электрической сетью должны рассматриваться как нормальные события. Для ПСН 2.2 такие редкие события как отказы реализации функций защиты или отказы во внутренних электрических цепях, должны рассматриваться как аварийные. Для ПСН 2.3 потенциально опасный режим ветра, ЭРП. рассматривается вместе с отказом собственной или внешней электрической сети (включая потерю связи с электрической сетью). Данная ситуация рассматривается как аварийная; время возникновения этих двух событий должно быть выбрано таким образом, чтобы рассмотреть в расчете наихудший случай нагружения. Если отказ или потеря электрической связи с сетью не вызывают немедленной остановки ВЭУ. а следующее в результате этого дальнейшее нагружение может привести к существенному усталостному повреждению, то вероятная продолжительность этой ситуации наряду с получающимся усталостным повреждением при нормальных параметрах турбулентности (НМТ) должна быть рассмотрена в ПСН 2.4.

В качестве альтернативы ПСН 2.3. приведенному в таблице 2. случай нагружения ПСН 2.3 может быть рассмотрен как нормальное событие, т. е.. при использовании стохастической модели режима ветра (НМТ - $V_„ < V_{hub} < V_{out}$) в сочетании с отказом во внутренней или внешней электрической системе. включая потерю электрической связи с сетью подключения. В данном случае частичный запас прочности по нагрузке равен 1.35. В этом случае надлежит выполнить 12 моделирований реакций для каждой рассматриваемой средней скорости ветра. Для каждого моделирования следует отобрать максимальную реакцию, соответствующую состоянию ВЭУ после наступления отказа в электрической системе. Состояние отказа должно быть введено после того, как влияние начальных условий станет незначительным. Для каждой средней скорости ветра номинальная максимальная реакция должна быть рассчитана как среднее значение 12 выбранных максимальных реакций плюс утроенное стандартное отклонение этих выбранных 12 реакций. Характеристическое значение реакции для случая ПСН 2.3 определяется как самое большое значение из числа номинальных максимальных реакций.

7.4.3 Проектный случай нагружения при включении ВЭУ (ПСН 3.1—3.3)

Этот проектный случай включает все события, приводящие к нагружению ВЭУ в течение переходных процессов из неподвижного (заторможенного) состояния или состояния покоя (парковки) до момента начала выработки электроэнергии. Число проектных расчетных ситуаций должно основываться на особенности функционирования системы управления.

7.4.4 Проектный случай нагружения при нормальном (контролируемом) останове ВЭУ (ПСН 4.1—4.2)

Этот проектный случай включает все события, приводящие к нагружению ВЭУ в течение нормальных переходных процессов с момента окончания производства электроэнергии до заторможенного состояния (неподвижного) или состояния покоя (парковки). Число проектных расчетных ситуаций должно основываться на особенности функционирования системы управления.

7.4.5 Проектный случай нагружения при аварийном останове ВЭУ (ПСН 5.1)

При проектировании ВЭУ должны быть рассмотрены нагрузки, возникающие в процессе аварийного останова.

7.4.6 Проектный случай нагружения ВЭУ. находящейся в состоянии парковки (заторможенном состоянии или при холостом ходе) (ПСН 6.1—6.4)

В данном проектном случае нагружения ветроколесо запаркованной ВЭУ либо неподвижно, либо совершает холостой ход (вращается, не вырабатывая электроэнергии). 8 ПСН 6.1.6.2 и 6.3 названные ситуации должны рассматриваться на основе модели экстремальной скорости ветра (МЭВ). Для ПСН 6.4. должна быть рассмотрена нормальная модель турбулентности (НМТ).

Для проектных случаев нагружения, которые соответствуют МЭВ. допускается использовать как модель экстремального стационарного ветрового потока, так и турбулентную модель экстремальной скорости ветра. Если используется турбулентная модель экстремальной скорости ветра, то характе-

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

ристики должны быть определены на основе полномасштабного динамического моделирования или квазистатического анализа с соответствующими поправками для порывов и динамических реакций, с учетом положения строительных норм и правил [2]. Если используется модель экстремального стационарного ветрового потока, то воздействия резонансных характеристик должны быть определены методами квазистатического анализа, упомянутого выше. Если отношение резонансных характеристик к фоновым не превышает 5 %. то рекомендуется использовать статический анализ на основе модели экстремального стационарною ветрового потока.

Если конструкция системы установки на ветер допускает возникновение рассогласования при воздействии нормативной нагрузки, то величина наибольшего возможного неблагоприятного рассогласования должна быть добавлена к средней величине рассогласования. Если ВЭУ имеет систему установки на ветер, которая допускает вращение при экстремальных ветровых режимах (например, свободное вращение, пассивная установка на ветер или полусвободное вращение), то должна использоваться турбулентная модель ветра; рассогласования в механизме установки на ветер будут определяться турбулентными изменениями направления ветра и динамическими характеристиками механизма установки ВЭУ на ветер. В проектном расчете должны быть рассмотрены ситуации, при которых ВЭУ испытывает существенные отклонения от положения равновесия или под воздействием ветра (в диапазоне от нормальной рабочей скорости до экстремальной скорости) изменяется ее состояние равновесия.

В ПСН 6.1 для ВЭУ с активной системой управления рысканием рассогласование установки на ветер должно быть принято в диапазоне ± 15° (для модели экстремального стационарного ветрового потока), или ± 8° (для турбулентной модели экстремальной скорости ветра), если можно обеспечить ограничение несовпадения оси ветроколеса с направлением скорости ветра.

В ПСН 6.2 должен быть рассмотрен случай отключения ВЭУ от электрической нагрузки в начале грозы, имеющей экстремальные параметры ветра. Если резервное питание не обеспечивает работу системы управления, системы установки на ветер и выравнивание по ветру в течение как минимум 6 часов. то должно быть рассмотрено воздействие от изменения направления ветра в диапазоне ± 180°.

В ПСН 6.3 должен быть рассмотрен экстремальный ветер с периодом повторяемости 1 год при максимальном рассогласовании установки на ветер. При использовании модели экстремального стационарного потока воздуха должно быть принято максимальное рассогласование установки на ветер до ± 30°. для турбулентной модели экстремальной скорости ветра — ± 20°.

В ПСН 6.4 должно быть определено ожидаемое число часов простоя (отсутствия выработки энергии). когда под воздействием переменных нагрузок, вызванных соответствующим воздействием ветра (например, от веса вращающихся вхолостую лопастей), может возникнуть существенное усталостное повреждение в каком-либо из элементов конструкции.

7.4.7 Проектный случай нагружения ВЭУ. находящейся в состоянии парковки в сочетании с ситуацией отказа (ПСН 7.1)

Должны быть рассмотрены отклонения от нормального поведения запаркованной ВЭУ. последовавшие в результате отказов электрической сети или самой ВЭУ. Если какой-либо отказ в сети подключения. исключая ситуацию отключения от сети, вызывает отклонения от нормального поведения ВЭУ в состоянии парковки, то возможные последствия должны быть предметом анализа. Состояния отказа должны быть рассмотрены МЭВ для периода повторяемости ветра 1 год. Режимы ветра МЭВ должны соответствовать либо турбулентной модели, либо квазистатической с соответствующими поправками на порывы и динамические характеристики.

В случае отказа в системе установки на ветер, должно быть рассмотрено рассогласование ± 180°. Для прочих отказов, рассогласование должно соответствовать ПСН 6.1.

Если рассогласование в системе управления рысканием может произойти при воздействии нормативной нагрузки согласно ПСН 7.1. то должно быть принято в расчет возможное наиболее неблагоприятное рассогласование.

7.4.8 Проектные случаи нагружения ВЭУ при транспортировании, сборке, монтаже, техническом обслуживании и ремонте (ПСН 8.1—8.2)

Для ПСН 8.1 изготовитель должен указать все климатические параметры и проектные ситуации, допустимые при транспортировании, установке, сборке в полевых условиях, техническом обслуживании и ремонте ВЭУ. Максимальные установленные параметры ветра должны быть рассмотрены при проектировании, если они приводят к существенному нагружению ВЭУ. Для обеспечения приемлемого уровня безопасности изготовитель должен предусмотреть достаточный резерв между установленными и принятыми при проектировании величинами параметров ветра. Рекомендуется к установленной величине скорости ветра добавить 5 м/с для обеспечения резерва.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

ПСН 8.2 должен включать все состояния 8ЭУ при транспортировании, сборке, техническом об* служивании и ремонте, продолжительность которых превышает одну неделю. В соответствии с этим должны быть рассмотрены ситуации, когда:

• несущая конструкция башни возведена не полностью;

. возведена несущая конструкция без гондолы;

• на возведенной ВЭУ установлено неполное количество лопастей ветроколеса.

Допускается предполагать, что все лопасти устанавливаются одновременно.

Предполагается, что электрическая сеть в любой из этих ситуаций отключена. Рекомендуется принять меры для уменьшения нагрузок в любой из перечисленных выше ситуаций до подключения ВЭУ к электрической сети.

Блокировочные устройства должны выдерживать нагрузки, являющиеся результатом ситуаций ПСН 8.1. 8 частности, должно быть принято во внимание воздействие максимальных проектных эксплуатационных нагрузок.

7.5 Расчет нагрузок

Нагрузки, описанные в 7.3.1—7.3.4, должны быть рассмотрены для каждого проектного случая нагружения. 8 соответствующих случаях необходимо принять во внимание:

• возмущения поля скоростей ветра, вызванные работой самих ВЭУ (эффекты аэродинамического следа, «затенение» башней, и тд.);

• влияние пространственного потока на аэродинамические характеристики лопасти (например, трехмерный срыв потока и аэродинамические концевые потери);

• нестационарные аэродинамические процессы;

• динамику конструкции и ее собственные колебания:

. аэроупругие эффекты;

• особенности функционирования системы управления защиты ВЭУ.

Для расчета нагрузок, действующих на элементы конструкции ВЭУ. обычно используется моделирование на основе подобной динамической модели. Некоторые варианты нагружения используют в качестве исходных данных данные о турбулентном воздействии ветра. Для таких вариантов полное количество данных, соответствующих продолжительности нагружения, должно быть достаточно большим, чтобы гарантировать статистическую надежность расчета нормативной нагрузки. Для расчета каждой средней величины при минимальном количестве данных, удовлетворяющих этому условию, являются данные шести 10-микутных стохастических результатов (или непрерывный 60-микуткый период). При этом для моделирования используется скорость ветра, измеренная на высоте оси ветроколеса. Для каждого случая при данной скорости ветра в ПСН 2.1, 2.2 и 5.1 должно быть выполнено не менее 12 испытаний.

Так как начальные условия, используемые при динамическом моделировании, обычно оказывают влияние на статистику нагружения в начале испытания, то данные, полученные в течение первых S с (или более, в случае необходимости) должны быть исключены из рассмотрения для любого интервала исходных данных при исследовании турбулентности.

Когда динамическое моделирование проводится для турбулентных ветровых потоков, следует принять во внимание временное и пространственное разрешение сетки.

Примечание — В отношении пространственного разрешения следует выполнить следующее условие: максимальное расстояние между смежными точками должно быть менее 25 % А, [Уравнение (5)] и не более 15 % диаметра ветроколеса. Это расстояние является диагональю между точками каждой ячейки сетки, имеющей четыре точки. Для неоднородной сетки, в качестве репрезентативного может рассматриваться среднее значение расстояния между точками сетки на поверхности ветроколеса. но эго расстояние должно всегда уменьшаться к периферии лопастей.

Составляющие силовой нагрузки в расчете по предельному состоянию могут также быть объединены консервативным образом на основе предположения о том. что максимальные значения составляющих нагрузки возникают одновременно. В случае, если этот вариант рассматривается, то для исключения неконсереативных оценок следует минимальные и максимальные экстремальные значения составляющих нагрузки рассмотреть во всех возможных комбинациях.

Руководство для вычисления экстремальных расчетных нагрузок в результате воздействия одновременных нагрузок, взятых из ряда выполненных стохастических моделирований, приведено в приложении Н.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

В тех случаях, когда местные нагрузки или напряжения в критических сечениях рассматриваемых элементов ВЭУ обусловлены совместным нагружением пространственной системы сил, для точного определения расчетных нагрузок допускается использовать временные ряды ортогональных нагрузок, полученные в результате моделирования. Когда такие ортогональные составляющие временных рядов используются для вычисления усталостных и предельных нагрузок, они объединяются с сохранением как направления, так и величины. Таким образом, прямой метод основан на получении достоверного напряжения как временной диаграммы нагружения. Затем этот единственный параметр используется в проектных расчетах экстремальных и усталостных нагрузок, что позволяет избежать расчетов комби» нированных нагрузок.

Составляющие предельной нагрузки также допускается объединять традиционным методом при условии, что экстремальные величины составляющих нагрузки возникают одновременно.

7.6 Расчет предельной прочности

7.6.1 Метод расчета предельной прочности элементов конструкции ВЭУ

Метод расчета предельной прочности основан на использовании парциальных коэффициентов безопасности. Парциальные коэффициенты безопасности учитывают неопределенность, непостоянство прикладываемых нагрузок и свойств материалов, различного рода погрешности, неполное соответствие расчетных моделей и методов расчета, степень ответственности несущих элементов конструкции и последствия отказов.

7.6.1.1 Парциальные коэффициенты безопасности для нагрузок и материалов

Чтобы обеспечить надежные значения проектных величин, необходимо учесть парциальными коэффициентами безопасности нестабильность нагрузок и свойств материалов в соответствии с уравнениями (28) и (29).

<2в>

где F_d — проектная расчетная величина суммарной внутренней нагрузки или реакция, возникающая внутри рассматриваемого элемента конструкции в результате одновременного воздействия всех составляющих внешней нагрузки для рассматриваемого варианта нагружения;

Y; — парциальный коэффициент безопасности по нагрузкам;

F_k — нормативная величина нагрузки.

1<п (29)

где f_d — проектная расчетная величина, учитывающая свойства материала;

y_m — парциальный коэффициент безопасности для материала;

f_k — нормативное значение свойств материала.

Парциальные коэффициенты безопасности для нагрузок, используемые в настоящем стандарте учитывают.

- возможные неблагоприятные отклонения/неточности в определении нагрузок по сравнению с нормативной величиной:

- неполное соответствие расчетной модели нагрузки.

Парциальные коэффициенты безопасности для материалов, используемые в данном стандарте, е соответствии с ГОСТ 27.301. учитывают:

* возможные неблагоприятные отклонения/неточности прочностных характеристик материала по сравнению с нормативными характеристиками;

* возможную неточность в расчете геометрических характеристик расчетных сечений или несущей способности нагруженных элементов конструкции;

- неточность геометрических размеров:

* несоответствие свойств материала элемента конструкции свойствам материала, полученным в результате испытаний опытных образцов;

- неточность переводных коэффициентов.

В некоторых случаях перечисленные выше неточности и неопределенности учитываются по отдельности. но в данном стандарте, как и во многих других, коэффициенты, относящиеся к нагрузкам, объединены в один коэффициент а относящиеся к материалам — е y_m.

Электротехническая библиотека Elec.ru

7.6.1.2 Парциальный коэффициент безопасности по назначению

Парциальный коэффициент безопасности по назначению учитывает последствия отказа и степень ответственности элемента конструкции. Данный коэффициент зависит от класса рассматриваемого элемента:

• элементы 1-го класса: данный класс используется для безопасных элементов конструкции, отказ которых не приводит к отказу основных частей ВЭУ например заменяемые подшипники, находящиеся под контролем системы управления;

• элементы 2-го класса: данный класс используется для «непредохраняемых» элементов конструкции. отказы которых могут привести к отказу основных частей ВЭУ;

- элементы 3-го класса: данный класс используется для «непредохраняемых» механических элементов, которые связывают приводы и тормоза с главными элементами конструкции без резервирования функций защиты ВЭУ. описанных в 8.3.

При испытаниях нагрузок должен быть определен коэффициент, учитывающий последствия отказа. например, так как это выполняется при полномасштабных испытаниях лопастей.

Для расчета ВЭУ по предельным состояниям в соответствующих случаях должны быть выполнены следующие четыре вида расчетов:

• расчет предельной прочности в соответствии с 7.6.2;

• расчет усталостной прочности в соответствии с 7.6.3;

• расчет на устойчивость (прогибы и тщ.) в соответствии с 7.6.4;

• проверка критических деформаций (зазор между лопастью и башней и т. д.) в соответствии с 7.6.5.

Каждый тип расчета устанавливает свои зависимости для описания предельного состояния и имеет дело с различными видами неопределенностей и неточностей, учитываемых с помощью парциальных коэффициентов безопасности.

7.6.1.3 Применение установленных стандартов на свойства материалов

При проверке структурной целостности элементов конструкции ВЭУ рекомендуется использовать национальные или международные стандарты для соответствующих материалов. Особую осторожность следует проявить при совместном использовании парциальных коэффициентов безопасности, установленных в национальных или международных стандартах, и парциальных коэффициентов безопасности данного стандарта. При проектировании ВЭУ необходимо обеспечить уровень безопасности не ниже установленного данным стандартом.

Различные стандарты подразделяют парциальные коэффициенты безопасности для материалов Ул> на несколько составляющих коэффициентов, учитывающих различные типы неопределенности свойств материалов, например естественную нестабильность прочностных характеристик, методы промышленного контроля или способ получения заготовки. Парциальные коэффициенты безопасности для материалов, приведенные в этом стандарте, соответствуют так называемым «главным парциальным коэффициентам безопасности для материалов», учитывающим естественную нестабильность прочностных характеристик. Если стандарт устанавливает парциальные коэффициенты безопасности или использует уменьшенные их значения, чтобы учесть прочие неопределенности, то это следует учесть при выполнении расчетов.

Отдельные стандарты для проверочных расчетов могут устанавливать другое соотношение парциальных коэффициентов безопасности по нагрузкам и материалам. Соотношение коэффициентов, принятое в данном стандарте, соответствует ГОСТ 12.2.007.0. Если разделение коэффициентов в выбранном стандарте имеет отклонение от ГОСТ 12.2.007.0. то должны быть выполнены необходимые поправки для коэффициентов, установленных в выбранном стандарте, при выполнении проверочных расчетов согласно данному стандарту.

7.6.2 Расчет предельной прочности элементов конструкции ВЭУ

Условие прочности по предельному состоянию представлено соотношением между действующими нагрузками и сопротивлением рассматриваемою элемента конструкции:

$$_{Уп} S(F_{rf})SR(f_{rf}). \quad (30)$$

Сопротивление *R* в большинстве случаев соответствует максимально допустимым расчетным прочностным характеристикам материала, следовательно. $R(f_a)$ - f_d, функция S для расчета предельной прочности обычно определяется как наибольшая величина внутреннего силового фактора в рассматриваемом элементе конструкции, следовательно $S(F_{tf}) = F_d$. Уравнение приобретает вид:

Электротехническая библиотека Elec.ru

*17 */17 ▪ (31)

Следует отметить, что у„ является коэффициентом, учитывающим последствия отказа и не дол* жеи рассматриваться как запас прочности для материала.

По условию предельной прочности должен быть проверен каждый нагруженный элемент конструкции ВЭУ для каждою соответствующего случая нагружения, установленного в таблице 2. и обеспечено условие предельной прочности в соответствии с выражением (31) для самого опасного предельного состояния, установленного на основе полученного наименьшего запаса.

Для случаев нагружения турбулентным потоком с заданным диапазоном изменения скоростей ветра вероятность превышения для нормативной нагрузки должна быть вычислена с учетом распределения схорости ветра, данного в 6.3.1.1. Поскольку многие расчеты нагрузок основаны на стохастических моделях ограниченной продолжительности, нормативные нагрузки, определенные для требуемого периода повторяемости, могут оказаться больше, чем любая из величин, вычисленных при моделировании. Руководство для расчета нормативных нагрузок от турбулентного набегающего потока дается в приложении F.

Для ПСН 1.1 нормативная величина нагрузки должна быть определена методом статистической экстраполяции и соответствовать вероятности превышения, для наибольшей величины в любой 10-минутный период не более $3.8\cdot10^{-7}$ (50-летний период повторяемости) для нормальных проектных ситуаций.

Данные, используемые в методах экстраполяции для случая DLC 1.1, должны быть извлечены из временных радов моделирований ВЭУ. минимальная продолжительность которых для ВЭУ. находящейся в рабочем диапазоне, составляет 10 минут. Требуется выполнить не менее 15 моделирований для каждой скорости ветра в диапазоне от (V_{nM} - 2 м/с) до скорости ветра отключения и шесть моделирований — для каждой скорости ветра ниже ($V_{/aled}$ - 2 м/с). При отборе данных проектировщик должен предусмотреть обеспечение независимости между пиками на экстраполяцию и минимизировать зависимость, когда это возможно. Проектировщик должен объединить данные и распределения вероятности для формирования согласованной функции распределения на большом интервале времени. Чтобы гарантировать устойчивость оценки длительно действующих нагрузок, должен быть применен критерий сходимости к квантилю вероятности, меньшему, чем мода данных как для краткосрочных, так и для долговременных превышений распределений. Для руководства, см. приложение F.

Характеристическое значение моментов, действующих в расчетной плоскости и перпендикулярных к ней. в месте крепления основания лопасти и отклонение периферийной точки лопасти может быть определено упрощенным методом.

Примечание — Эгот подход считают консервативным для 3-лопэстных ВЭУ с горизонтальной осью, установленных перед башней по набегающему воздушному потоку. В случае применения других конструкций ВЭУ следует проявить осмотрительность.

Характеристическое значение в этом случае может быть определено вычислением средних значений экстремальных данных для каждого 10-минутного бина и использованием наибольшей величины. умноженной на коэффициент экстраполяции 1.5 при сохранении частичного коэффициента запаса по нагрузке, применяемого для экстраполяции статистических нагрузок в соответствии с таблицей 3.

Для случаев нагружения с указанными явлениями в поле ветра нормативные нагрузки должны быть вычислены для наихудшего варианта переходного процесса. Для случаев турбулентного воздушного потока должна быть определена средняя величина из числа самых опасных вычисленных нагрузок для различных 10-минутных наборов случайных данных, за исключением ПСН 2.1, 2.2 и 5.1, для которых величина нормативной нагрузки должна быть равна средней величине наибольших половин максимальных нагрузок.

7.6.2.1 Парциальные коэффициенты безопасности для нагрузок

Парциальные коэффициенты безопасности для нагрузок должны быть не менее установленных в таблице 3.

Использование парциальных коэффициентов безопасности по нагрузкам для нормальных и аварийных проектных ситуаций, определенных в таблице 3. требует, чтобы выбранная модель расчета нагрузки была подтверждена результатами измерений нагрузок. Эти измерения должны быть выполнены на 8ЭУ. имеющей конструкцию, подобную конструкции рассматриваемой ВЭУ в отношении аэродинамических характеристик, осуществления процессов управления и динамических реакций.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Т а б л и ц а 3 — Парциальные коэффициенты безопасности для нагрузок $y_($

Неблагоприятные нагрузки			Благоприятные*) нагрузки
Нормальные (Н)	Аварийные (А)	Транспорт лыеГмонгажиые (Т)	Все проектные ситуации
1.35*	1.1	1.5	0.9
') Инерционные и гравитационные нагрузки, которые существенно уменьшают суммарную величину внутренних усилий в элементах конструкции, считаются благоприятными. В случае как благоприятных, так и неблагоприятных нагрузок выражение (30) имеет вид: Ул^(Уг vnTe$_v$ F* un/avT/Лт Fr.ft»*) £ F((y). • Для проектного случая нагружения ПСН 1.1 при условии, что нагрузки определены методом статистической экстраполяции для заданного интервала скорости ветра между и парциальный коэффициент безопасности по нагрузке для нормальных проектных ситуаций принимается равным y, = 1,25.			
Если для нормальной проектной ситуации может быть рассчитана нормативная величина реакции от воэдействия силы тяжести, и эта нагрузка является неблагоприятной, то парциальный коэффициент безопасности по нагрузкам рекомендуется определить в соответствии с зависимостями: Т/»1 .1 + *;2: |0.15дляПСН1.1 |0.25для прочих ф а Лрдп*йу . |c |,'c 1 p • [gravity | & |Г* 1 O' l^jrak'ify | > |F* |			

Допущение в 7.6.1.1. в котором для определения силовой реакции применен частичный коэффициент запаса прочности по нагрузкам, предполагает, что главной целью является надлежащее представление динамической реакции. Для фундаментов 8ЭУ или конструкций, для которых правильное представление нелинейного поведения материала и/или геометрической нелинейности представляет главный интерес, расчетная силовая реакция S_d должна быть получена на основе структурного анализа при комбинировании расчетных нагрузок F_d. где расчетная нагрузка получена умножением характеристических значений нагрузок F_k на установленные частичные коэффициенты запаса по нагрузкам как для благоприятных, так и неблагоприятных случаев нагружения:

^ = гЛ-

вкутрекние силовые факторы, возникающие в башне (перерезывающие силы и изгибающие моменты). умноженные на y^ приведенные в таблице 3. должны использоваться в качестве граничных условий.

Для гравитационных фундаментов предельные состояния, обеспечивающие полную устойчивость (движение твердого тела при отсутствии повреждения опорной поверхности почвы) и несущую способность почвы и фундамента, должны быть рассмотрены и вычислены в соответствии с действующими стандартами. В общем случае при определении нагрузок, действующих на гравитационный фундамент, заделанный в почву или плавучий, частичный коэффициент запаса прочности y, - 1.1 для неблагоприятных постоянных нагрузок и y, - 0.9 для благоприятных постоянных нагрузок. В том случае, когда на основе применения менеджмента качества проектирования и выполнения инженерных изысканий может быть доказано, что удельные плотности материала фундамента, установленные в проектной документации, соответствуют условиям площадки размещения, частичный коэффициент запаса прочности для постоянно действующей нагрузки на основание $y_($ -1.0 может использоваться для расчета по предельным состояниям несущей способности почвы и фундамента. Если вычисленная способность держаться на опорной поверхности соответствует уровню грунтовых вод. то может быть применен частичный коэффициент запаса прочности по плавучести $y_($ - 1,0.

С другой стороны, проверка несущих способностей почвы и фундамента может быть основана на частичном коэффициенте запаса прочности y, - 1.0 как для благоприятных, так и для неблагоприятных случаев постоянного нагружения. Проверка полной устойчивости может быть основана на частичном коэффициенте запаса прочности у,= 1.1 для неблагоприятных случаев постоянною нагружения и y, -0.9

для благоприятных случаев постоянного нагружения при использовании во всех случаях консервативных оценок весов или плотностей, определенных как 5 %-ные и 95 %-ныв квантили. Более низкий квантиль должен использоваться для случая благоприятного нагружения. В противном случае, должен использоваться верхний квантиль.

7.6.2.2 Парциальные коэффициенты безопасности для материалов в случае отсутствия установленных стандартов

В данном случае парциальные коэффициенты безопасности должны быть определены в соответствии с имеющимися данными испытаний свойств материалов. Величина главного парциального коэффициента безопасности для материалов $y_т$, учитывающего естественную нестабильность прочностных свойств, должна быть:

$$7* *1.1 \quad (32)$$

для свойств материала с 95 %-ной вероятностью выживания, р. с 95 %-иой достоверностью[1] >. Эта величина относится к элементам, обладающим упругими свойствами[2]*, отказы которых способны приводить к отказу главных элементов конструкции 8ЭУ. например, трубчатая сварная башня, фланцевое соединение башни, сварная рама гондолы или сочленения лопастей. Виды отказа включают:

- пластические деформации упругих материалов.

• разрыв болта в болтовом соединении с достаточным количеством болтов, чтобы обеспечить —

ут

части нагрузки в результате разрушения одного болта.

Для «непредохраняемых» механических и структурных элементов, не обладающих упругими свойствами, отказы которых быстро приводят к отказу главных элементов конструкции ВЭУ. главный парциальный коэффициент безопасности для материалов должен быть не менее, чем:

-1.2 —для глобальной потери устойчивости изогнутых оболочек типа трубчатых башен и лопастей;

• 1.3 — для разрушения вследствие превышения напряжений растяжения или сжатия.

Парциальные коэффициенты безопасности, учитывающие последствия отказа:

- элемент класса 1: $y_п$ = 0.9:

• элемент класса 2: $y_п$ - 1.0;

- элемент класса 3: у„ - 1.3.

7.6.2.3 Парциальные коэффициенты безопасности для материалов в случае использования установленных стандартов

Объединенные парциальные коэффициенты безопасности для нагрузок, материалов и учета последствий отказа $y_г$ $y_т$, у„ должны быть не менее установленных в 7.6.2.1 и 7.6.2.2.

7.6.3 Усталостное разрушение

Расчеты на усталостную прочность должны быть выполнены по соответствующей надежной методике. Например, в соответствии с методикой Майнера, предельное состояние считается достигнутым, когда накопленное повреждение превысит 1.8 данном случае повреждение, накопленное за проектный срок службы ВЭУ. должно быть меньше или равно 1. выражения для расчета усталостной прочности должны учитывать как особенности цикла нагружения, его диапазон, так и среднюю величину деформаций (напряжений). Для расчета величины приращения повреждения, связанного с каждым циклом усталостного нагружения, все парциальные коэффициенты безопасности (для нагрузок, материалов и последствий отказа) должны быть применимы к рассматриваемому диапазону циклических деформаций (или напряжений). Пример методики Майнера приведен в приложении G.

7.6.3.1 Парциальный коэффициент безопасности по нагрузкам

Парциальный коэффициент безопасности по нагрузкам для нормальных и аварийных ситуаций должен быть: у, = 1.0.

7.6.3.2 Парциальные коэффициенты безопасности для материалов в случае отсутствия установленных стандартов

Парциальный коэффициент безопасности для материалов $y_т$ должен быть не менее 1.5 при условии. что кривая S-A/основана на 50 %-ной вероятности выживания и коэффициенте вариации < 15 %.

** Нормативные прочностные характеристики должны быть отобраны как 95%-ный квантиль (определенный с 95%-ной достоверностью) или в соответствии с величиной, указанной в сертификате на материалы и полученной в соответствии с установленным порядком проведения испытаний установленных образцов.

[2]* Упругие свойства в данном случае относятся не только к упругим свойствам материалов, но также к элементам. конструкция которых предусматривает упругое поведение, например, внутреннее резервирование.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Для элементов с большим коэффициентом вариации усталостной прочности[1]* (в диапазоне от 15 % до 20 %), состоящих из многих компонентов (композитные материалы), как. например, железо* бетон или волоконные материалы, парциальный коэффициент безопасности должен быть увеличен и составлять не менее 1.7.

Характеристики усталостной прочности должны быть основаны на результатах статистически значимого количества испытаний, их нормативные значения должны учитывать: масштабный фактор, допуски, ухудшение свойств в результате внешних воздействий, например, ультрафиолетового излучения. а также скрытые дефекты.

Для сварных и конструкционных сталей при построении кривых S-W традиционно используется 97,7 %-ная вероятность выживания, в этом случае коэффициент y_m рекомендуется принять равным 1.1. В тех случаях, когда осуществляются периодические осмотры, позволяющие обнаружить критическое развитие усталостной трещины, допускается использовать белее низкую величину y_{m}. Во всех случаях коэффициент y_m должен быть больше 0.9.

Для волоконных материалов, распределение прочностных характеристик должно быть установлено на основе данных испытаний конкретного материала. Построение кривой S-N должно основываться на 95 %-ной вероятности выживания с уровнем доверительной вероятности 95 %. в этом случае коэффициент y_m рекомендуется принять равным 1.2. Аналогичный подход допускается использовать и для других материалов.

Парциальные коэффициенты безопасности, учитывающие последствия отказа:

• элемент класса 1: $y_л$ = 1.0:

• элемент класса 2: $y_„$ - 1,15;

- элемент класса 3: $y_л$ г 1.3.

7.6.3.3 Парциальные коэффициенты безопасности для материалов в случае использования установленных стандартов

Общие парциальные коэффициенты безопасности (для нагрузок, материалов и последствий отказа) должны быть не менее установленных в 7.6.3.1 и 7.6.3.2 с соответствующим учетом установленных в стандарте квантилей.

7.6.4 Устойчивость

Несущие части «непредохраняемых» элементов конструкции должны сохранять устойчивость в процессе воздействия проектных нагрузок. Для всех других элементов конструкций упругие деформации под действием расчетной нагрузки допустимы. Под воздействием нормативных нагрузок все элементы конструкции должны сохранять устойчивость.

Для получения проектной расчетной нагрузки, должен быть выбран парциальный коэффициент безопасности по нагрузкам, минимальная величина которого должна соответствовать установленной в 7.6.2.1. Парциальные коэффициенты безопасности для материала должны быть не менее указанных в 7.6.2.2.

7.6.5 Проверка критических деформаций

7.6.5.1 Основные положения

Должно быть подтверждено, что деформации, способные вызвать нарушение конструктивной целостности под воздействием проектных условий, перечисленных в таблице 2. отсутствуют.

Максимальное упругое отклонение в неблагоприятном направлении при воздействии характеристических значений нагрузок должно быть определено для случаев нагружения, перечисленных в таблице 2.

Полученные величины деформаций затем следует умножить на комбинированный парциальный коэффициент запаса прочности по нагрузкам, материалам и учету последствий отказа.

7.6.5.1.1 Парциальный запас прочности по нагрузкам.

Значения $y_($ должны быть выбраны из таблицы 3.

7.6.5.1.2 Парциальный коэффициент запаса прочности, учитывающий деформационные свойства материалов

Величина y_m должна быть принята равной 1.1 кроме тех случаев, когда упругие свойства рассматриваемого элемента конструкции были определены на основе соответствующих испытаний или в результате мониторинга. В этом случае величина данного коэффициента может быть уменьшена. Особое внимание должно быть уделено геометрическим погрешностям формы и размеров, а также точности метода вычисления деформаций.

[1]: Усталостная прочность здесь определяется как диапазоны напряжений для заданного числа циклов.

Электротехническая библиотека Elec.ru

7.6.5.1.3 Парциальный коэффициент запаса прочности, учитывающий последствия отказа

Парциальный коэффициент запаса прочности, учитывающий последствия отказа равен:

• для элемента конструкции класса 1: г 1.0;

• для элемента конструкции класса 2: y_n - 1.0;

• для элемента конструкции класса 3: y_n - 1.3.

Величина полученной упругой деформации должна быть добавлена к положению элемента в недеформированном состоянии в самом опасном направлении. Полученное положение должно быть проверено по условию отсутствия механической интерференции.

7.6.5.2 Отклонения вершин лопастей ветроколеса под действием приложенных нагрузок

Одним из самых важных видов расчета, которые необходимо выполнять, является проверочный расчет по отсутствию механического соприкасания лопасти ветроколеса и башни.

В общем случае, расчеты деформаций лопасти ветроколеса должны быть выполнены как для случаев нагружения предельными нафузхами, так и для случаев усталостного нагружения. Деформации, вызванные предельными нагрузками, могут быть вычислены на основе модели балки, методом конечных элементов или иным аналогичным образом. Все соответствующие случаи нагружения, перечисленные в таблице 2. должны быть рассмотрены с соответствующими частичными коэффициентами запаса прочности.

Кроме того, для случая нагружения 1.1 экстраполяция отклонения вершины попасти является обязательной в соответствии с 7.4.1. В данном случае может применяться прямой динамический расчет деформаций. Превышение вероятности для удельного отклонения в самом опасном направлении рекомендуется принимать таким же. как для удельной нагрузки. Затем полученное удельное отклонение должно быть умножено на комбинированный коэффициент запаса прочности для нагрузок, материалов и последствий отказа и добавлено к недеформированному положению в самом опасном направлении. Полученное положение вершины лопасти должно быть проверено по условию отсутствия механической интерференции.

7.6.6 Специальные парциальные коэффициенты безопасности

Если величины нагрузок были установлены испытаниями или на основе расчетов, подтвержденных испытаниями, и при этом обеспечен более высокий уровень надежности, то парциальные коэффициенты безопасности для нагрузок допускается уменьшить. Величины всех использованных парциальных коэффициентов безопасности должны быть отражены в проектной документации.

8 Система управления и защиты

8.1 Основные положения для построения системы управления и защиты

Безопасное функционирование ВЭУ должно обеспечиваться системой управления и защиты. Принципы построения системы управления и защиты должны соответствовать положениям данного пункта.

Ручное или автоматическое вмешательство не должно ставить под угрозу выполнение функций защиты. Любое устройство, допускающее ручное вмешательство, должно находиться в хорошо видимом. доступном для персонала месте. В случае необходимости на данные устройства должны быть нанесены соответствующие обозначения.

Установки системы управления и защиты должны быть защищены от несанкционированного доступа.

8.2 Функции управления

Функции управления ВЭУ должны осуществляться системой управления активными или пассивными способами. Рабочие параметры должны удерживаться в их нормальных пределах. Для систем управления, имеющих возможность выбора режима управления (например, рабочий режим, режим технического обслуживания), выбор любого режима из числа предусмотренных должен отменять возможность осуществления всех других видов управления, за исключением аварийного останова. Выбор режима должен осуществляться переключателем. Каждое положение переключателя должно соответствовать только одному режиму управления. Если некоторые функции осуществляются методами числового программного управления, то должны быть установлены коды доступа для выбора соответствующей функции управления.

Процессы управления должны контролировать или ограничивать перечисленные ниже функции и/или параметры:

- мощность:

Электротехническая библиотека Elec.ru

• частоту вращения ветроколеса;
• соединение с электрической нагрузкой;
• процедуры выключения и остановки;
• закручивание кабелей;
• установку на ветер.

8.3 Функции защиты

Функции защиты должны активироваться в результате отказа функции управления или в результате внутреннего или внешнего отказа, а также в случае возникновения опасного события. Функции защиты должны поддерживать ВЭУ в безопасном состоянии. Уровни активации для функций защиты должны быть установлены таким способом, чтобы проектные ограничения не были превышены.

Функции защиты должны иметь более высокий приоритет, чем функции управления. Приоритет функции кнопки аварийного останова должен быть самым высоким в системе торможения и подключения к электрической нагрузке (сети подключения).

Функции защиты должны включаться в следующих случаях:
• превышение скорости;
• перегрузка генератора или отказ;
• чрезмерная вибрация;
• аварийное закручивание кабеля (из-за вращения гондолы при установке на ветер).

Функции защиты должны быть разработаны таким образом, чтобы обеспечивать безотказную эксплуатацию ВЭУ. В общем случае функции защиты должны обеспечить защиту ВЭУ от любого отдельного отказа, выхода из строя источника питания или любого неконтролируемого компонента систем, осуществляющих функции защиты. Любой отдельный отказ элементов, находящихся пед постоянным контролем, или неконтролируемых элементов системы управления не должен приводить к сбою функций защиты.

Если два (или более) отказа являются взаимозависимыми или имеют общую причину, то они должны рассматриваться как един отказ.

При проектировании должны быть приняты меры, уменьшающие риски от скрытых отказов. Неконтролируемые элементы системы защиты должны разрушаться безопасным способом. Контроль состояния прочих элементов названной системы должен осуществляться автоматически. В любом случае их отказ должен приводить к выключению ВЭУ. Контролируемые элементы конструкции должны проверяться через установленные интервалы времени.

Все неконтролируемые элементы конструкции, которые используются для реализации функций защиты без резервирования, должны быть отнесены к 3 классу с назначением соответствующего парциального коэффициента безопасности, учитывающею последствия отказа в соответствии с 7.6. Все такие ответственные элементы системы защиты должны быть рассчитаны по предельной прочности, усталости, устойчивости и критическим деформациям.

В случае конфликта между системами защиты и управления, функции защиты должны преобладать над функциями управления.

Должна быть обеспечена невозможность осуществления автоматического или дистанционного повторного включения ВЭУ. если отключение произошло в результате внутреннего отказа или рассоединения. являющегося критическим для безопасности ВЭУ. Если рассоединение или отказ были вызваны отключением от сети или потерей нагрузки, то после восстановления электрической нагрузки или подключения к сети, должна быть исключена возможность автоматического повторного включения ВЭУ.

Должно быть обеспечено доминирование функций аварийного останова над функциями управления. Срабатывание кнопки аварийного останова должно привести ветроколесо к полной остановке при любой скорости ветра, меньшей, чем предельная разрешенная для технического обслуживания и ремонта согласно 7.4.8, и как минимум, к состоянию холостого хода из любого рабочего состояния. Срабатывание кнопки аварийного останова также должно обесточить электрические схемы среднего и высокого напряжения. Кнопки аварийного останова должны находиться на каждом главном рабочем месте (например, в гондоле и основании башни). Разъединение любой кнопки аварийного останова, последовавшее в результате ее срабатывания, должно требовать выполнения определенной последовательности действий для разрешения повторного включения. Автоматическое повторное включение должно быть возможно только после разрешения оператора.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

8.4 Система торможения

Система торможения должна быть способна привести ветроколесо в состояние холостого хода или его полной остановки из любого рабочего состояния. Должны быть предусмотрены способы и сред* ства. которые обеспечивают возможность полной остановки ветроколеса при опасном состоянии холостого хода при любой скорости ветра, меньшей, чем предельная скорость, установленная для технического обслуживания и ремонта согласно 7.4.8.

Рекомендуется, чтобы, по крайней мере, одна из систем торможения работала на аэродинамическом принципе, воздействуя непосредственно на вал ветроколеса. Если эта рекомендация не выполнена. то по крайней мере одна из систем торможения должна быть установлена на валу ротора или ветроколеса ВЭУ.

Конструкция тормозов должна обеспечивать надежное срабатывание даже в случае отказа внешнего источника, осуществляющего их питание. Тормоз после приведения его в действие должен быть способен удерживать ветроколесо в состоянии полной остановки при заданных параметрах ветра не менее 1 ч. На периоды более длительных отключений от сети должна быть предусмотрена возможность приведения тормоза в действие как с помощью резервного источника питания, так и вручную.

9 Механические системы

9.1 Основные положения для проектирования механических систем

Механическая система, рассматриваемая в данном стандарте — это любая система, которая состоит не только из неподвижных элементов конструкции или электротехнических устройств, но также из подвижных элементов. Подвижные элементы используют или передают относительное движение через соединения звеньев, подшипников, валов, направляющих, зубчатых колес и другие устройства. Механическая система ВЭУ. как правило, состоит из элементов цепи привода (коробки передач, валов, муфт), вспомогательных устройств (тормозов, механизмов поворота лопастей, привода ориентации на ветер). Вспомогательные устройства допускается проектировать с электрическим, гидравлическим или пневматическим приводом.

Все механические системы в цепи привода, в системах управления и защиты должны быть разработаны в соответствии с настоящим стандартом и прочими соответствующими стандартами РФ. Парциальные коэффициенты безопасности должны соответствовать элементам *2-го* класса согласно 7.6.1.2, за исключением элементов, для которых должен быть установлен 3-й класс.

В процессе проектирования должны быть разработаны процедуры технического обслуживания системы охлаждения и фильтрации смазывающей жидкости, выполнение которых гарантирует работоспособность названной системы в заданном рабочем диапазоне температур.

Особое внимание при разработке конструкции и процедур технического обслуживания должно быть уделено системе охлаждения и фильтрации, которые должны обеспечивать определенные проектом эксплуатационные характеристики смазочного материала в заданном диапазоне температур.

Остаточный срок службы любого подверженного износу элемента, входящего в систему торможения. должен автоматически контролироваться через установленные интервалы времени. 8ЭУ должна быть остановлена и заблокирована при выявлении предельной для выполнения аварийного останова величины допустимого износа трущихся элементов. Все устройства системы торможения должны быть разработаны и поддерживаться в таком состоянии, чтобы обеспечивать время срабатывания в заданных пределах.

Расчет нагрузок должен быть выполнен на основе кривых торможения, включая как средний уровень торможения, так и минимальный, допускающий минимальную величину трения и прикладываемого давления, предусмотренного проектом. Если тормоз позволяет скольжение при минимальном уровне торможения при приведении его в действие, то конструкция должна быть разработана с гарантией отсутствия перегрева, ухудшения рабочих характеристик и риска возникновения пожара.

9.2 Предотвращение ошибок при сборке механических, электрических, гидравлических и прочих систем

Должны быть предусмотрены конструктивные меры, исключающие возможность неправильной сборки элементов конструкции, что является источником риска для ВЭУ. Если конструктивными методами избежать неправильной сборки не представляется возможным, то должны быть

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

сделаны соответствующие надписи на русском языке непосредственно на сопрягаемых элементах или на их корпусах. Чтобы избежать риска нанесения ущерба или травмирования обслуживающего персонала на подвижных и вращающихся частях машин и элементов конструкции (или их корпусах). должны быть сделаны надписи на русском языке, указывающие направление движения. Прочая необходимая информация должна быть отражена в инструкции по управлению и руководствах по техническому обслуживанию.

Должны быть предусмотрены соответствующие надписи на русском языке или конструктивные меры, исключающие возможность неправильного соединения элементов электрической, гидравлической. пневматической и прочих систем, если неправильное их соединение может быть источником риска (например, трубки, шланги или клеммные коробки).

9.3 Гидравлические и пневматические системы

Вспомогательное оборудование, имеющее гидравлический или пневматический привод, должно быть рассчитано, сконструировано и оснащено таким образом, чтобы исключить любую потенциальную опасность, связанную с использованием названных видов привода. Гидравлические и пневматические системы должны иметь в своем составе средства изоляции или освобождения от накопленной энергии. Конструкция всех элементов названных систем, трубок и/или шлангов, наполненных рабочей жидкостью или газом, должна выдерживать проектные параметры внешних и внутренних факторов или должна быть предусмотрена соответствующая защита. На стадии проектирования необходимо оценить риск повреждения ВЭУ вследствие разрушений в гидравлической /пневматической системах и принять меры к его минимизации.

9.4 Главная коробка передач

Главная *коробка передач должна быть спроектирована в соответствии с требованиями настоящего стандарта, до введения в действие специального национального стандарта.*

Механизм главной коробки передач должен рассматриваться как компонент *2-го класса.*

Передачи должны быть спроектированы на основе соответствующих методов *расчета в соответствии с ГОСТ 21354. Прочностные характеристики материала* должны *быть получены согласно ГОСТ 21354. При расчете передач должна быть учтена их* точность *(производственные допуски, зазоры, смещения).*

Коэффициент безопасности по контактным напряжениям S_H должен быть *вычислен согласно ГОСТ 21354* в *соответствии с установленной методикой. Для расчетов по контактной усталостной прочности* должен быть *использован* прямой метод *Майнера. Расчетный коэффициент безопасности* S_H должен *быть равен 1.2. Данный коэффициент безопасности* S_H *учитывает парциальный коэффициент безопасности для материала, нагрузки и последствий* отказе.

Коэффициент безопасности по напряжениям изгиба S_F *должен быть вычислен согласно ГОСТ 21354. Для* выполнения *расчетов по изгибной усталостной прочности* должен *быть использован прямой метод расчетов Майнера. Расчетный коэффициент безопасности* S_F *должен быть не менее 1.45. Данный коэффициент безопасности* S_f *включает парциальный коэффициент безопасности для материала, нагрузки и последствий* отказа.

Усталостные нагрузки не оказывают влияния на процесс заедания, но даже редкие кратковременно действующие большие нагрузки в состоянии вызвать этот отказ, *особенно в* соединениях *с недостаточной* твердостью и *точностью обработки сопряженных поверхностей и при наличии высокой температуры материала смазки. Расчет по условиям заедания* должен быть проведен на *основе пиковых нагрузок по ГОСТ 21354. Расчетный коэффициент безопасности по отсутствию заедания* S_s должен *быть не менее 1.3.*

При конструировании систем охлаждения и *фильтрации смазывающей жидкости и при разработке процедур их технического обслуживания* должно *быть* уделено *особое внимание обеспечению определенных проектом эксплуатационных характеристик смазочного материала в заданном диапазоне температур.*

9.5 Система установки на ветер

Система установки на ветер, как правило, состоит из:

- устройств, обеспечивающих ее неподвижность (например, гидравлические тормоза);
- устройств, изменяющих ее ориентацию (например, электрические двигатели, коробки передач и шестерни);

Электротехническая библиотека Elec.ru

• устройств, обеспечивающих возможность относительного перемещения (например, подшипники).

Все двигатели должны соответствовать требованиям раздела 10 настоящего стандарта.

Все элементы иепи передачи механизма установки ветроколеса на ветер, не имеющие резервирования, такие как последнее поворотное колесо, должны быть приняты в расчет как элементы конструкции 2-го класса. В случае применения многоприводного механизма установки на ветер, гарантирующего достаточное резервирование в рассматриваемой системе, и при соблюдении условия возможности легкой замены, редуктор и последняя приводная шестерня могут быть рассчитаны, как элементы 1-го класса.

Расчеты зубчатых колес по условию контактной прочности должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ 21354. Допускается использование верхнего графика усталостной кривой (1) для коэффициента долговечности Z_{NT}, допускающего ограниченное точечное выкрашивание. Проверочный расчет зубьев по изгибным напряжениям должен быть выполнен в соответствии с ГОСТ 21354.

Реверсивная изгибающая нагрузка, действующая на зубья зубчатых колес передачи поворотного механизма, должна быть рассчитана в соответствии с приложением В ГОСТ 21354. Минимальные значения коэффициентов запаса и S_H приведены в таблице 5. Данные величины коэффициентов запаса должны быть обеспечены при использовании характеристических нагрузок F_k. поэтому они включают частичный коэффициент запаса прочности по последствиям отказа y_{rr} свойствам материалов y_m и нагрузок $y_{(}$.

Таблица 5 — Минимальные коэффициенты запаса прочности S_H и S_F для передачи поворотного механизма установки на ветер

	Элемент класса 1	Элемент класса 2
Поверхностная усталостная прочность (выкрашивание)	S_H2 1.1	$^{S}H^{2}$ 1-1
Изгибная усталостная прочность зуба	5^2 1.1	S_p2 1.25
Изгибная прочность по статическим нагрузкам	$S_f Z$ 1.0	S_f а Л2

Более низкие значения коэффициентов запаса прочности допускается применять при наличии постоянною надежного мониторинга. Если выбраны запасы прочности ниже 1.0. то в руководстве по обслуживанию должны быть установлены рекомендуемые интервалы замены деталей.

9.6 Система управления лопастями

Система управления лопастями, как правило, состоит из средств, обеспечивающих поворот попастей (например, гидравлические приводы, электрические двигатели, коробки передач, тормоза и зубчатые колеса) и устройств, обеспечивающих возможность относительного вращения.

Любые двигатели должны соответствовать техническим требованиям раздела 10. Для систем управления лопастями с индивидуальными двигателями/приводами. гарантирующими достаточное резервирование. рекомендуется назначать класс 2.

9.7 Аварийные тормоза

Механические тормоза, которые используются для реализации функций защиты, в основном являются устройствами с элементами трения, имеют гидравлический или механический привод (энергия сжатой жидкости или сжатой пружины). Остаточный срок службы любых изнашиваемых компонентов, например тормозных накладок, должен находиться под постоянным контролем системы управления и защиты, которая должна выполнить останов и блокировку ВЭУ при выявлении предельной величины износа материала, установленного для выполнения аварийной остановки.

Определение расчетных нагрузок должно быть основано на рассмотрении процессов торможения с соответствующими диапазонами изменения тормозных моментов. Если конструкция тормоза допускает проскальзывание в состоянии полной остановки с минимальным тормозным моментом, всякий раз, когда он должен удерживать ВЭУ в стационарном состоянии, период проскальзывания при турбулентном ветре должен быть достаточно коротким, чтобы не допустить перегрева тормоза, ухудшения его рабочих характеристик и риска возникновения пожара.

9.8 Подшипники качения

Расчет долговечности подшипников качения должен выполняться в соответствии с ГОСТ 18854 и ГОСТ 18855. Для подшипников, установленных на валах, например на главном валу, в коробке передач, срок службы (с 90 %'ной вероятностью выживания) должен быть не менее 20 лет. Метод расчета должен учитывать режим эксплуатации. Использование всех расчетных коэффициентов должно быть обосновано в соответствии с ГОСТ 18855.

Системы охлаждения и фильтрации масла должны гарантировать стабильность определенных проектом эксплуатационных характеристик в заданном диапазоне температур при выполнении установленных процедур технического обслуживания.

Проектные нагрузки при расчетах подшипников должны соответствовать различным случаям нагружения в соответствии с 7.4 и использовать коэффициенты безопасности в соответствии с 7.6. Проектный расчет подшипников должен учитывать предполагаемое число циклов нагружения в течение срока службы, характер нагружения, например непрерывный, как для подшипников главного вала или колебательный, как в механизмах поворота лопастей и установки на ветер. Расчеты подшипников, выполняющих незначительные перемещения, должны учитывать условия недостаточной смазки.

Для подшипников, совершающих колебательное движение под нагрузкой, отношение уровня статической нагрузки к расчетной должно быть не менее 1,0 в соответствии с ГОСТ 18854. При расчете должна быть учтена податливость сопряженных деталей.

10 Электрическая система

10.1 Основные положения, определяющие электрическую систему ВЭУ

Электрическая система ВЭУ включает все электрическое оборудование, установленное в каждой отдельно взятой ВЭУ. включая клеммы ВЭУ.

Система сбора мощности в настоящем стандарте не рассматривается.

10.2 Общие технические требования к электрической системе ВЭУ

При проектировании электрической системы 8ЭУ должен быть гарантирован максимальный уровень безопасности для людей и домашнего скота. При всех нормальных и экстремальных внешних условиях. определенных е разделе 6 настоящего стандарта, в процессе эксплуатации и технического обслуживания должна быть минимизирована возможность повреждения как самой ВЭУ. так и сети подключения.

Электрическая система, включая все электрическое оборудование и компоненты, должна быть выполнена в соответствии с национальными стандартами Российской Федерации. Конструкция электрической системы ВЭУ должна удовлетворять требованиям ГОСТ 12.2.007.0. Для ВЭУ. которые имеют цепи электрического тока с номинальными напряжениями свыше 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока, проект электрической схемы ВЭУ должен удовлетворять требованиям ГОСТ 12.2.003. Стационарные электрические установки, не относящиеся к машинным, должны удовлетворять требованиям ГОСТ Р 50571.2. Изготовитель в проектной документации должен перечислить стандарты, использованные при проектировании. Проект электрической системы ВЭУ должен учитывать пульсирующий характер энергии, вырабатываемой генераторами ВЭУ.

10.3 Защитные устройства

Электрическая система ВЭУ. в дополнение к требованиям серии ГОСТ Р 50571. должна включать соответствующие устройства, гарантирующие защиту от сбоев как самой ВЭУ. так и сети подключения, которые могут привести к опасной ситуации или состоянию ВЭУ.

10.4 Разъединительные устройства

Должка быть предусмотрена возможность отключения электрической системы ВЭУ от питающих источников электрической энергии, если это требуется по условиям технического обслуживания, ремонта. осмотра или испытаний.

Не допускается использовать полупроводниковые приборы в качестве единственных самостоятельных отключающих приборов и устройств.

8 конструкции ВЭУ должны быть предусмотрены вспомогательные электрические схемы с независимым источником питания (система собственных нужд) и отключающим устройством для

Электротехническая библиотека Elec.ru

освещения, обеспечения технологических процессов и осуществления мер безопасности во время тех* нического обслуживания ипи ремонта. Данные вспомогательные схемы должны находиться под напряжением в то время, когда все остальные электрические схемы отключены.

10.5 Система заземления

В проекте ВЭУ должна быть разработана местная система электродного заземления в соответствии с требованиями ГОСТ 21130. ГОСТ 12.1.030. ГОСТ 12.2.007.0 (для обеспечения правильного функционирования электрических установок) и ГОСТ 12.1.030 (для молииезащиты). В проектной документации должен быть указан диапазон проводящих свойств грунтов, которому соответствует данная система электродного заземления, а также должны быть даны рекомендации на случай, если будет установлено несоответствие указанному диапазону.

Выбор и установка оборудования электродного заземления (электроды заземления, провода заземления. главные клеммы заземления, заземляющие шины) должны быть выполнены в соответствии с ГОСТ Р 50571.10.

В любой электрической схеме, рассчитанной на напряжение выше 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока, должны быть предусмотрены средства и способы заземления на период технического обслуживания и ремонта.

10.6 Молниезащита ВЭУ

Защита ВЭУ от ударов молний должна быть разработана в соответствии с ГОСТ 12.1.030. Нет необходимости обеспечивать защиту тех частей ВЭУ. безопасности которых удары молний не наносят ущерба. Руководство по выполнению молниезащиты *должно быть разработано производителем.*

10.7 Электрические кабели

Бронированные кабели и изолирующие трубы должны использоваться в том случае, когда имеется вероятность повреждения кабелей грызунами и другими животными. Подземные кабели должны располагаться на такой глубине, чтобы избежать повреждений от передвижной техники, обслуживающей ВЭУ. и сельскохозяйственных машин.

В случае применения кабелей, не защищенных изолирующими трубами или защитными каналами. линии расположения кабелей должны быть маркированы лентами разметки ипи специальными укрытиями для кабеля.

10.8 Самовозбуждение

Любая цепь электрической схемы ВЭУ. которая допускает возникновение самовозбуждения, должна быть разомкнута и надежно удерживаться е разомкнутом состоянии в случае потери связи с сетью подключения.

Если конденсаторная батарея подключается параллельно с асинхронным генератором (для улучшения характеристик мощности), то в электрической схеме необходимо предусмотреть соответствующий выключатель, который должен отключать конденсаторную батарею при потере сети, чтобы избежать самовозбуждения генератора. Если в цепи генератора ВЭУ предусмотрены устройства, не допускающие его самовозбуждения, то в соответствующей документации должно быть указано, что самовозбуждение генератора исключено.

10.9 Защита от грозовых электромагнитных импульсов

Защита от перенапряжения должна быть выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50571.26.

Границы защиты от перенапряжения должны быть выбраны таким образом, чтобы любое перенапряжение. возникшее в электрическом оборудовании, не превышало пределов, определяемых уровнями изоляции оборудования.

10.10 Качество электроэнергии

Качество электроэнергии, выработанной ВЭУ. должно соответствовать ГОСТ Р 51991.

Примечание — Фраза *^Процедуры. описанные в МЭК 61400-21. могут использоваться для подтверждения соответствия требованиям сети* передач!/ *и распределения мощности» не включена в текст данного стандарта, так как отсутствует национальный эквивалент упомянутого стандарта.*

Электротехническая библиотека Elec.ru

10.11 Электромагнитная совместимость

Электрическая система ВЭУ российского и импортного производства должна соответствовать в части электромагнитной совместимости требованиям ГОСТР 51317.6.1. ГОСТР 51317.6.3.

11 Выбор ВЭУ по условиям соответствия площадке размещения

11.1 Основные положения, реализуемые при выборе ВЭУ

На ВЭУ воздействуют факторы окружающей среды, факторы, определяемые электрической сетью подключения, а также соседние ВЭУ. которые могут оказывать влияние на характер нагружения, срок службы и процессы эксплуатации ВЭУ. В дополнение к этим факторам для площадки размещения должны быть учтены: топография местности, сейсмическая опасность зоны, химические и механические свойства слагающих грунтов. При проектировании должно быть показано, что определенные для участка перечисленные выше факторы и условия не могут нанести ущерба структурной целостности выбранной ВЭУ. При проектировании должна быть оценена топографическая сложность участка согласно 11.2 и выполнена оценка ветрового режима площадки размещения согласно 11.3. Для оценки структурной целостности допускается использовать два подхода, заключающиеся в следующем:

a) показано, что величины всех факторов, описывающих специфические условия площадки размещения. не превышают принятых при проектировании ВЭУ в соответствии с 11.9:

b) показано, что структурная целостность ВЭУ сохраняется при упомянутых выше условиях, когда каждое из условий является таким же или является более суровым, чем то. которое определено для площадки в соответствии с 11.10.

Если какие-либо условия для площадки являются более суровыми, чем принятые при проектировании ВЭУ. то структурная целостность и электрическая совместимость должны быть подтверждены на основе второго подхода.

Определение парциальных коэффициентов безопасности для нагрузок 7.6.2.1 выполнено в предположении. что оценка нормальных и экстремальных факторов ветрового режима на площадке была проведена в соответствии с минимальными требованиями, изложенными в данном пункте.

11.2 Оценка топографической сложности площадки

Топографическая сложность участка является характеристикой величины уклона территории и величиной отклонений рельефа рассматриваемой площадки от плоскости.

Чтобы получить уклон территории, вокруг башни для всех секторов направления ветра е пределах заданного расстояния от башни должны быть определены аппроксимирующие плоскости, проходящие через основание башни и лежащие в секторах с заданными размерами. Уклон, используемый в таблице 4. обозначает уклоны различных средних линий секторов, проходящих через основание башни и лежащих в аппроксимирующих плоскостях. Соответственно, величина отклонения рельефа от аппроксимирующей плоскости обозначается величиной расстояния, измеренного по вертикальной линии, между аппроксимирующей плоскостью и рассматриваемой точкой на поверхности рельефа местности.

Разрешение поверхностной сетки, используемой для оценки топографической сложности площадки. не должно превышать меньшую из величин, равных 1.5 z_{hub} и 100 м.

Таблица 4 — Показатели топографической сложности площадки

Расстояние от ВЭУ. м	Размер сек-юра	Максимальный угол уклона ап* прокси пирующей плоскости	Максимальное от клоне кие оысоты рельефа местности.м
<5**ub	360°	< 10»	<0-3^
<10^6	30»		<0-6 z_{hub}
<20 Z_{hub}	30»		<^2z_{hub}

Примечание — Критерии проверки считают выполненными, если требуемое условие не выполняется на поверхности меньшей, чем бг^2.

Рассматриваемая площадка должна быть отнесена к разряду сложных, если 15 % энергии ветра поступает из секторов, которые не соответствуют критериям, установленным в таблице 4. и гомогенности. и если менее 5 % энергии ветра поступает из секторов, которые не удовлетворяют установленным показателям.

Индекс сложности I_c определяется следующим образом:

• I_c = 0. когда менее 5 % энергии поступает из сложных секторов:

• I_c=1. когда больше 15 % энергии поступает из сложных секторов.

В интервале между установленными значениями /. изменяется линейно.

11.3 Параметры ветра, определяемые в проекте

Величины перечисленных ниже параметров ветра на площадке размещения 8ЭУ должны быть определены:

• экстремальная скорость ветра на 10-минутном интервале осреднения на высоте оси ветроколеса z_{hub} с периодом повторяемости 50 лет:

• функция плотности вероятности распределения скорости ветра $P(V_{hub})$ на интервале V_{irt} - V_{oal}\

• среднее квадратическое отклонение турбулентности набегающего воздушного потока <т. м/с (определенное как средняя величина среднего квадратического отклонения продольной составляющей скорости[1]*, и среднее квадратическое отклонение $o_п$. м/с. от о. м/с. на уровне оси ветроколеса в интервале $V_{it)}$ при величине *Ум,-* равной

• угол отклонения набегающего потока:

- распределение ветра[2]':

• плотность воздуха.

В том случае, когда отсутствуют данные о плотности воздуха для рассматриваемой площадки, надлежит руководствоваться рекомендациями ГОСТ Р 51991 с внесением соответствующих поправок для среднегодовой температуры.

Интервал для любой выборки скоростей ветра, которая используется для определения вышеупомянутых величин, должен быть не более 2 м/с: угол сектора направления ветра должен быть не более 30°. Все параметры, кроме плотности воздуха, должны иметь интервал осреднения 10 мин и быть сгруппированы по направлениям ветра.

Параметры ветра[1]) на площадке также должны быть:

- измерены в диапазоне от 0.2 $V_{n(}$ до 0.4 V_{tef} и экстраполированы:

- вычислены на основе данных длительных измерений, проведенных установленным на площадке метеорологическим оборудованием, данных, предоставленных государственными метеорологическими станциями, или на основе данных государственного ветрового кадастра.

Если используются результаты измерения параметров ветра непосредственно на площадке размещения, то должна быть выполнена их корректировка на основе доступных долговременных данных государственных метеорологических станций, наиболее близко расположенных к рассматриваемой площадке. Для площадок, находящихся в зонах с ярко выраженными сезонными климатическими колебаниями. период мониторинга, обеспечивающий надежность данных, должен быть не менее одного года и включать все сезоны. Для площадок без яркой выраженности сезонных изменений необходимо осуществлять мониторинг не менее 6 месяцев.

Величина среднего квадратического отклонения продольной составляющей скорости ветра должна быть определена соответствующими статистическими методами, пригодными для результатов измерения и предпочтительно таких, в которых не наблюдается явная тенденция. Для площадок, где топографические или другие местные факторы могут оказывать влияние на величину интенсивности турбулентности, эти факторы должны быть отражены в данных. Характеристики анемометра, интервалы измерений и время осреднения, используемые для получения опытных данных, должны быть приняты во внимание при оценке интенсивности турбулентности.

11.4 Оценка эффекта «затенения» ВЭУ

В процессе проектирования должны быть обязательно рассмотрены эффекты взаимного воздействия расположенных рядом ВЭУ («затенение», которое влияет на процесс выработки электроэнергии и силовое нагружение еетроустановок). При проведении проектных расчетов ветроэлектростанции и выборе ВЭУ по условиям конкретной площадки следует принять во внимание осредненкые и турбулентные характеристики воздушного потока, вызванные «затенением» одной или многими ВЭУ. кото-

') Продольная составляющая может быть аппроксимирована горизонтальной составляющей

2) Высокие величины распределения для расширенных периодов времени были установлены для некоторых зон в соответствии с очень большой стратификацией воздушного потока или существенными изменениями шероховатости поверхности. Условия внешней окружающей среды в б не предполагают учета данных случаев.

Электротехническая библиотека Elec.ru

рые расположены выше ло течению воздушного потока. Расчеты должны учитывать расстояния между ВЭУ. все скорости ветра и его направления, существенные для выработки электроэнергии.

Увеличение нагружения ВЭУ. в основном учитывающее результат влияния аэродинамического следа, рекомендуется определять при помощи эффективной интенсивности турбулентности. Результирующее воздействие на ВЭУ в данном случае складывается из нагружения фоновой турбулентностью и воздействием аэродинамического следа.

Для выполнения расчетов на усталостную прочность эффективную интенсивность турбулентности $1'_H$ рекомендуется определять в соответствии с приложением D.

$$U=TT\text{-}^{fn}axKI\text{-} \quad (33)$$

8 общем случае, не следует рассматривать влияние результирующей турбулентности и различные случаи предельного нагружения на усталостные процессы как идентичные.

11.5 Оценка прочих факторов окружающей среды

Перечисленные ниже факторы окружающей среды требуют определения и сравнения их с принятыми при проектировании 8ЭУ:

- нормальные и экстремальные температурные диапазоны;
- гололед, град и снег:
- влажность;
- удары молний;
- солнечное излучение;
- химически активные вещества;
- соленость.

11.6 Оценка устойчивости для сейсмически опасных районов

Для ВЭУ стандартного класса требования к сейсмической устойчивости не формулируются, потому что такие события характерны лишь для незначительного количества районов в мире. Выполнение расчетов на сейсмическую устойчивость не требуется для районов с низкой сейсмической активностью в соответствии со строительными нормами и правилами (1]. Для районов, где сейсмические нагрузки, описанные ниже, являются критическими, должны быть выполнены расчеты, подтверждающие сохранение структурной целостности ВЭУ при условиях, соответствующих площадке размещения. Оценку рекомендуется основывать на методике, изложенной в приложении С. При расчетах результирующей нагрузки сейсмическое нагружение должно быть скомбинировано с другими существенными часто встречающимися эксплуатационными нагрузками.

Сейсмические нагрузки зависят от акселерограмм и спектров реакций, определенных в строительных нормах и правилах [1].

Оценку сейсмической устойчивости допускается выполнять в соответствии с методикой, изложенной ниже.

При сейсмических явлениях ускорение Земли должно быть определено для 475-летнего периода повторяемости.

Сейсмическая и рабочая нагрузки должны быть сопоставлены. 8 качестве рабочей нагрузки для выполнения данного сопоставления выбирается большая из двух нагрузок, приведенных ниже:

a) средняя нагрузка, возникающая в процессе производства электроэнергии и определенная для всего периода эксплуатации ВЭУ:

b) нагрузка, возникающая в случае аварийного отключения ВЭУ. если скорость ветра в начальный момент отключения соответствует величине нагрузки, указанной для случая а).

Парциальный коэффициент безопасности по нагрузкам для всех нагруженных элементов должен быть равен 1.0.

Расчет сейсмической нагрузки рекомендуется выполнять методом доминантной частоты; в этом случае рабочие нагрузки непосредственно добавляются к сейсмическим.

Расчет сейсмических нагрузок допускается выполнять методом спектрально-временных моделей. В этом случае должно быть рассмотрено необходимое количество вариантов для обеспечения репрезентативности рабочей нагрузки, полученной как средняя величина для рассматриваемых интервалов времени.

Число тонов собственных колебаний башни, используемое в расчете, должно соответствовать СНиП [1]. Если СНиП не используется, то должен быть рассмотрен последовательный ряд тонов с полной модальной массой 85 % от всей массы.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

При выполнении оценки сейсмической устойчивости конструкции может допускаться только упру* * гая реакция или вязкое рассеяние энергии. Важно, чтобы последний параметр был оценен правильно для примененного типа конструкции (особенно для решетчатых конструкций, выполненных с помощью болтовых соединений).

Консервативный метод вычислений и комбинирования нагрузок, действующих на башню, приведен в приложении С. Этот метод нельзя использовать, если предполагается, что сейсмические воздействия помимо нагружения башни вызовут существенное нагружение прочих конструкций.

11.7 Оценка влияния сети подключения

Условия, определяемые сетью подключения на клеммах ВЭУ. при размещении ее на предполагаемой площадке, должны быть определены для гарантирования соответствия проектным характеристикам электрических нагрузок. Внешние условия, накладываемые сетью подключения, должны быть следующими* >:

- номинальное напряжение и диапазон колебаний, включая условия, при которых ВЭУ остается подключеиной/огключенной от сети, на основе установленного номинального диапазона напряжения и продолжительности:

- номинальная частота, диапазон колебаний и темпы изменения, включая условия, при которых 8ЭУ остается подключвнной/отключемной от сети, на основе установленного номинального диапазона частоты и продолжительности:

• асимметрия напряжений: изменение составляющей обратной последовательности фаз по отношению к составляющей прямой последовательности фаз:

• метод заземления нейтрали;

• метод обнаружения и защиты от замыкания на землю;

• простои: количество отключений от принимающей сети в год:

• циклы повторного автоматического включения:

• график потребления реактивной мощности;

• продолжительность короткого замыкания и величина токов короткого замыкания:

• полное сопротивление короткого замыкания на клеммах ВЭУ (фаза—фаза, фаза—фаза—земля, земля—фаза);

- фоновое нелинейное искажение напряжения сети:

- наличие несущей частоты ВЧ-связи и ее частота;

• профиль падения напряжения в сети, при котором ВЭУ остается подключенной к сети;

- требования к управлению мощностью;

- скорость отслеживания графика нагрузки и

• другие требования по обеспечению совместимости с сетью.

11.8 Инженерно-геологические и инженерно-геодезические изыскания

Инженерные изыскания для определения свойств слагающих грунтов предполагаемой площадки размещения должны осуществляться квалифицированным персоналом в соответствии с существующими нормативными документами: строительными нормами и правилами /3/. а также *ведомственны• ми строительными нормами* /4/. *(SJ. [6}.*

11.9 Проверка структурной целостности ВЭУ на основе данных измерения параметров ветра

Проверка структурной целостности ВЭУ должна быть выполнена путем сравнения величин параметров ветра для участка размещения ВЭУ с параметрами, использованными при проектировании ВЭУ.

*) При проектировании ВЭУ может возникнуть необходимость выполнения условия совместимости с сетью подключения. *Требованияпосовместимостиссетьюподключения. основывающиеся на* требованиях *стандартов РФ и обусловленные местными условиями, должны* быть *предусмотрены на стадии проектирования. Могут быть установлены дополнительные* требования;

- *тип. назначение и месторасположение ВЭУ:*

- *мощность ВЭУ:*

- наличие, *мощность и* энергопотребление *нагрузки;*

- *требуемая степень* надежности электроснабжения потребителей *(категория электроприемников):*

• *наличие оборудования* нужных *параметров и надежность его работы:*

• *размер ущерба при нарушении электроснабжения и недоотпуске электроэнергии потребителям, а также системного* ущерба из-за ухудшения *режимов работы* энергетических *систем при отказах элементов ВЭУ.*

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Критерием выбора ВЭУ для предполагаемой площадки является удовлетворение перечисленным ниже условиям:

• экстремальная средняя скорость ветра с периодом повторяемости 50 лет. измеренная на высоте оси ветроколеса в течение 10 минут на площадке, должна быть меньше величины V_{ral}, м/с[1]*:

• полученная в результате измерений на площадке функция плотности вероятности для V_{hub} должна быть меньше, чем проектная величина функции плотности вероятности {см. 6.3.1.1} для всех значений V_{hub} в интервале от 0.2 до 0,41^

• нормативная величина среднего квадратического отклонения турбулентности о,, м/с (см. уравнение (11)), должна быть больше или равна величине, определенной для площадки размещения, приблизительно для 90%-ного квантиля среднего квадратического отклонения турбулентности для всех величин скорости ветра V_{hub} в интервале от 0.2 $V_{re(}$ до 0.41^,и

$$о, ао + 1,28о_д. \qquad (34)$$

Для сложного ландшафта оценка нормативной величины среднего квадратического отклонения продольной составляющей турбулентности должна быть увеличена, чтобы учесть влияние турбулентности. обусловленной сложным рельефом[2]. Отклонение воздушного потока на площадке должно соответствовать максимальной величине отклонения из всех возможных для рассматриваемой площадки и должно быть меньше, чем определенное в 6.3. В том случае, когда отсутствуют данные или расчеты для отклонения воздушного потока на площадке со сложным рельефом, следует предположить, что воздушный поток всегда параллелен аппроксимирующей плоскости (см. 11.2) в пределах расстояния от ВЭУ. равного $5V_{hub}$.

Показатель степени кривой а. описывающий распределение средней скорости ветра по вертикали. должен быть меньше, чем определенный в 6.3.1.2. и больше нуля. Если данные для рассматриваемой площадки отсутствуют, то распределение ветра допускается определять на основе топографии площадки и класса шероховатости поверхности.

Средняя плотность воздуха на площадке должна быть меньше определенной для скоростей ветра. равных или превышающих V_r. м/с (см. 6.4.1).

Соответствующая оценка влияния аэродинамического следа может быть выполнена на основе проверки следующего условия:

• стандартное отклонение о, от величины, соответствующей модели нормальной турбулентности, больше или равно оцениваемому 90 %-ному квантилю стандартного отклонения турбулентности (включая турбулентность окружающей среды и аэродинамических следов) в интервале скоростей ветра от $0.2V_{w}$,n0.4V,,,

• или. когда характеристики ветроустановки известны, между 0.6 V_r и V_{out}, то есть:

Руководство для вычисления приведено в приложении D.

Кроме того, должно быть показано, что изменение турбулентности по горизонтали, обусловленное специфическими особенностями площадки из-за частичного аэродинамического затенения, не превышает ЭСВ в 6.3.2.6 и что экстремальная величина турбулентности на площадке, вызванная ее особенностями. включая влияние аэродинамических следов, не превышает значений, установленных для модели ЭМТ в 6.3.2.3. Для определения величины турбулентности на площадке, обусловленной ее особенностями, должны быть учтены специфические условия площадки, частота прохождения аэродинамических следов над площадкой и план размещения оборудования на территории ветроэлектростанции.

[1] В качестве альтернативы допускается определять центральное (на интервале осреднения 3 секунды) значение экстремальной скорости ветра на высоте оси ветроколеса с периодом повторяемости 50 пег. которое должно быть меньше, чем V^, м/с.

[2] Влияние сложного ландшафта может быть учтено дополнительным умножением на поправочный коэффициент. учитывающий особенности турбулентного потока C_{c7}, определенный как

$$C_{CT} = \frac{\sqrt{1+\left(\hat{\sigma}_2 / \hat{\sigma}_1\right)^2+\left(\hat{\sigma}_3 / \hat{\sigma}_1\right)^2}}{1375}.$$

где отношения оцениваемых стандартных отклонений <ь соответствуют значениям величин отклонений на уровне оси ветроколеса. В случае полного отсутствия данных о величинах составляющих компонентов турбулентности для сложного ландшафта рассматриваемой площадки могут использоваться результаты моделирования или C_{c7}= 1 + 0.15 |де i_c — индекс сложности, определенный в 11.2.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Примечание — Этот подход может также использоваться для оценки изменения величины турбулентности внутри сектора, s том числе в комбинации с турбулентностью аэродинамического следа. Стандартное отклонение *с*То от о может быть определено как средняя величина турбулентности внутри рассматриваемого сектора.

11.10 Проверка структурной целостности ВЭУ при воздействии нагрузок, вызванных специфическими особенностями площадки размещения

Расчеты должны показать, что нагрузки и вызванные ими деформации, соответствующие специфическим особенностям площадки размещения и учитывающие влияние окружающей среды на прочностные характеристики конструкции, в сравнении с характеристиками, принятыми при проектировании ВЭУ. обеспечивают гарантированный запас. Вычисления должны быть выполнены для изменений параметров ветра по средним значениям скоростей ветра и его направления и учитывать воздействие аэродинамического следа и прочие факторы.

При условии отсутствия данных о величине составляющих компонентов турбулентности на рассматриваемой площадке со сложным рельефом, следует принять величины составляющих поперечных и восходящих стандартных отклонений турбулентности равными, соответственно. 1.0 и 0.7 величины продольной составляющей.

В случае воздействия аэродинамических следов должны быть выполнены расчеты для случаев предельного и усталостного нагружения, показывающие отсутствие нарушения структурной целостности ВЭУ.

Для расчета по предельному усталостному состоянию в расчетном случае ПСН 1.2 или для варианта нормальной турбулентности модель следует заменить соответствующей моделью турбулентности аэродинамического следа, например $/_{вл}$. приведенным в приложении D.

Для расчета по предельным нагрузкам в случаях ПСН 1.1 или ПСН 1.3, а также в ПСН 1.5 должны быть учтены специфические условия площадки без учета влияния аэродинамических следов, представленные соответствующими моделями. НМТ для случая нагружения, соответствующего полному предельному состоянию, может быть установлена для типичной турбулентности, возникающей внутри крупных ветроэлектростанций, в соответствии с уравнением (D.4). приложение О.

Поскольку в случае расчета по предельным усталостным нагрузкам (приложение О) зависит от показателя степени кривой Веллера m для материала рассматриваемого элемента конструкции, то нагрузки. действующие на элементы конструкции иэ других материалов с иными механическими свойствами, должны быть повторно вычислены или оценены с помощью соответствующего коэффициента *m.*

12 Сборка, установка и монтаж

12.1 Основные положения, реализуемые на этапах сборки, установки и монтажа

Нормы и требования по производству строительных работ *при возведении сооружений ВЭУ должны быть установлены на основе требований системы стандартов безопасности труда Российской Федерации, защиты окружающей среды и настоящего стандарта. Должны быть учтены конструктивные особенности ВЭУ. площадки строительства, производства* работ *по конкретному сооружению и климатические особенности территории строительства.*

Изготовитель ВЭУ должен предоставить руководство по установке, ясно описывающее требования по установке конструкции ВЭУ и соответствующего оборудования. Установка ВЭУ должна выполняться специально обученным квалифицированным персоналом.

Транспортирование, установка, сборка и монтаж должны *производиться е соответствии с руководствами. проектом организации строительства (ПОС). предоставленными проектировщиком.*

выполнение сборки, *монтажа и установки* должно *проводиться в соответствии с проектом производства работ (ППР) и разработанной технологической картой. Все* выполненные *работы и их результаты* должны заноситься в *журнал* выполненных работ, *ведение и сохранность которого должны* быть *обеспечены руководителем организации, осуществляющей данные виды* работ.

Организация работ и содержание площадки строительства, на которой устанавливается оборудование ВЭУ. должно исключать возможность возникновения опасных ситуаций. Должны быть также предусмотрены меры, обеспечивающие защиту от несанкционированного доступа на площадку строительства.

Производитель работ должен своевременно распознавать и предотвращать возникновение потенциальных опасностей в процессе работы.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Персонал, выполняющий работы по возведению ВЭУ. должен использовать соответствующие средства защиты глаз, органов слуха, головы и специальную обувь. Все работники, занятые на верхолазных работах и в работах на высоте, находясь над уровнем земли или воды, должны бытьспециально обучены и аттестованы для выполнения данных работ и должны использовать ремни безопасности, устройства безопасности для выполнения верхолазных работ, прочие приспособления и приборы без* опасности *в соответствии с правилами (7).*

Во время выполнения любых работ на *ВЭУ для предотвращения травмирования падающими предметами запрещается* нахождение людей *в опасной зоне на земле у основания ВЭУ. Наименьший* размер *радиуса опасной зоны равен 1/3 высоты* уровня *производства работ.* Разработчик, исходя из *особенностей функционирования и эксплуатации оборудования,* вправе *уточнить размеры опасной зоны вблизи ВЭУ и прочего оборудования в соответствии с требованиями строительных норм и правил (8).*

Все оборудование должно содержаться в исправном состоянии и соответствовать выполнению требуемых задач. Краны, лебедки, прочее подъемное оборудование и ею элементы, включая все тросы. стропы, канаты, крюки и прочие устройства, необходимые для выполнения безопасного подъема и возведения, должны соответствовать нормам технической безопасности и предъявляемым к ним техническим и технологическим требованиям (возможность подъема и установки элементов конструкции на заданной высоте). Все подъемное оборудование и его элементы: тросы, канаты, стропы, крюки — должны быть испытаны и иметь сертификаты безопасности.

Оборудование ВЭУ должно быть смонтировано в соответствии с рекомендациями производителя. Должна быть выполнена проверка правильности работы системы смазки и предпусковое освидетельствование всех элементов конструкции.

При возведении ВЭУ должны быть приняты особые меры предосторожности в случае возникновения экстремальных ситуаций, таких как град, гроза, сильный ветер, землетрясение, обледенение и прочие аналогичные события.

Соответствующие меры должны быть приняты, чтобы избежать возникновения поперечных колебаний в возведенной башне ВЭУ (без установленной гондолы) при воздействии критических скоростей ветра и турбулентности. Данные критические скорости ветра и меры предосторожности должны быть указаны в руководстве по установке.

12.2 Планирование работ по сборке, монтажу и установке ВЭУ

Сборка, монтаж, установка ВЭУ и комплектующего оборудования должны быть выполнены в соответствии с планами проведения работ для гарантии соответствия системе стандартов безопасности труда.

Руководство по строительству, монтажу и установке должно содержать:

- нормы безопасности при проведении земляных работ:
- подробные чертежи и спецификации, обеспечивающие выполнение работ и план осуществления контроля;
- описание технологии, обеспечивающей надежное и качественное выполнения закладных деталей, таких как каркасы, болты, якоря и арматура:
- стандарты и нормы для производства бетонных смесей, их транспортировки, взятия контрольных образцов и анализов, заливки, отделки, укладки изоляции;
- нормы безопасности при проведении взрывных работ;
- порядок производства работ (ППР) по установке элементов конструкции башни (мачты) и элементов крепления.

12.3 Требования к площадке в процессе установки оборудования ВЭУ

Организация работ и содержание строительной площадки, на которой устанавливается оборудование ВЭУ. должны исключать возможность возникновения опасных ситуаций.

12.4 Доставка оборудования ВЭУ

Проектировщик крупногабаритного оборудования должен разработать инструкцию по транспортированию. Требования к транспортировке крупногабаритных грузов должны быть *основаны на правилах дорожного движения Российской Федерации. ГОСТ 15846 и ГОСТ 26653.*

Работы по доставке оборудования на площадку должны выполняться с учетом требований безопасности и учитывать следующее:

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

• выполнение ограждений и сопровождения;
• состояние и вид дорожного покрытия;
• ширину дороги и просвет;
• несущую способность дорожного покрытия и грунта;
• перемещение оборудования в пределах строительной площадки.

12.5 Параметры окружающей среды

В процессе возведения должны быть выдержаны указанные проектировщиком максимально до* пустимые величины факторов окружающей среды. Должны быть приняты во внимание следующие факторы;
• скорость ветра;
• снегопад и гололед;
• температура окружающей среды;
• предельная дальность видимости;
• песчаную бурю;
• грозу;
-дождь.

12.6 Документация

Проектировщик оборудования должен обеспечить наличие необходимых чертежей, спецификаций и инструкций для выполнения сборочных, монтажных, подъемных, транспортных и строительных работ. *Виды и комплектность конструкторских документов* должны *соответствовать ГОСТ 2.102.*

В соответствии с *ГОСТ Р 51991* документация должна содержать информацию о всех допустимых нагрузках на оборудование при выполнении перечисленных выше работ. Должны быть указаны веса всех сборочных единиц, обозначены точки подъема, приведено описание технологии транспортировки, подъема, установки и монтажа оборудования. 8 комплект оборудования должны входить специальные устройства и приспособления, предназначенные для выполнения данных видов работ.

Проектировщик оборудования должен предоставить руководство для выполнения строительных работ, установки, монтажа и демонтажа, которое должно содержать; описание методики выполнения всех видов работ, инструкции, в том числе инструкцию по выполнению подъемно-транспортных работ, технические условия, упаковочные, монтажные, компоновочные и сборочные чертежи.

Руководства (инструкции) для осуществления транспортировки, *проекты организации строительства. установки,* сборки, *монтажа, наладки, порядка ввода е эксплуатацию ВЭУ должны быть разработаны проектировщиком на основе паспортов технических изделий. Руководства (инструкции). ПОС и ППР должны* входить в комплект поставки оборудования ВЭУ.

Монтажная схема системы *ВЭУ должна быть представлена в* разделе *рукоеодслзва по установке и монтажу. Монтажная схема электрических* соединений *должна содержать информацию, достаточную для выполнения монтажа использованного отечественного и импортного оборудования.*

Инструкция для выполнения *подъемно-транспортных работ* должна *содержать:*

- *предельные значения климатических параметров для выполнения работ:*

• *требования к кранам, лебедкам и прочему подъемному и транспортному оборудованию, в том числе ко всем стропам, крюкам и другим инструментам, требующимся для безопасного подъема:*

- *чертежи, схемы строповки* со *специальными приспособлениями с указанием* точек *для строповки.*

На поднимаемых узлах и деталях должны быть четко обозначены точки для строповки.

В инструкции должна быть приведена технология установки и дано указание по использованию конкретных инструментов, оснастки, приспособлений и *приборов, требуемых для безопасной установки.*

12.7 Перемещение оборудования и хранение

Перемещение и транспортирование комплектующего оборудования 8ЭУ в пределах площадки должны осуществляться с полным соблюдением требований к оборудованию и технологии, установленных производителем оборудования.

При установке ВЭУ в холмистой местности все тяжелое оборудование и элементы конструкции 6ЭУ. устанавливаемые на площадке, имеющей уклон, должны быть зафиксированы от самопроизвольною перемещения.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Все промежуточные сборочные операции рекомендуется выполнять на площадках соответствую' щего размера, расположенных ниже площадки установки ВЭУ. Все тяжелое оборудование должно быть надежно закреплено в устойчивом положении.

Чтобы предотвратить риск повреждения лопастей, гондолы, легких решетчатых конструкций и прочих аэродинамических элементов конструкции ВЭУ вследствие воздействия ветра, надлежит вы* полнить их фиксацию с помощью канатов, стоек и грунтовых якорей.

12.8 Специальные приспособления, такелаж, растяжки

С целью обеспечения надежной и безопасной сборки и монтажа должны использоваться разрабо* танные производителем оборудования ВЭУ устройства и приспособления: специальные инструменты, зажимы и фиксаторы.

12.9 Сборка ВЭУ

Сборка оборудования ВЭУ должна быть произведена в соответствии с рекомендациями производителя. Перед пуском должна быть проверена правильность работы системы смазки и предпусковое освидетельствование всех элементов конструкции.

12.10 Монтаж ВЭУ

Монтаж оборудования должен осуществляться организацией, сертифицированной по этому виду деятельности.

8 процессе установки и монтажа любой элемент электрической системы ВЭУ не должен находиться под напряжением за исключением тех случаев, когда это необходимо по условиям технологии монтажа, предусмотренной разработчиком. В этом случае подача питания на оборудование должна быть проведена в соответствии с технологией, разработанной, оформленной в письменном виде и предоставленной разработчиком.

Все элементы конструкции, самопроизвольное движение которых (вращательное или поступательное) является потенциальным источником опасности, в процессе монтажа должны быть закреплены так. чтобы сделать самопроизвольное движение невозможным.

12.11 Крепежные соединения

Резьбовые крепежные изделия и прочие соединения и устройства должны быть установлены с соблюдением рекомендуемых производителем инструкций для выполнения контролируемых соединений. Соединения, обозначенные как ответственные, должны быть выполнены с соблюдением всех требований производителя: должен быть выполнен контроль усилий затяжки и соблюдены прочие требования, предъявляемые к соединениям такого типа.

Должно быть проведено обследование для подтверждения:

- правильности сборки всех механизмов и элементов конструкции, соединений, крепления растяжек. тросов, винтовых стяжек, монтажных мачт и прочих устройств:
- надлежащего присоединения подъемных устройств для обеспечения требований безопасности подъемных работ.

12.12 Подъемно-транспортное оборудование

Краны, лебедки и прочее подъемное *и транспортное оборудование,* включая *крюки, тросы, стропы,* должно *соответствовать нормам безопасности при выполнении подъемно-транспортных работ в соответствии с ГОСТ* 12.3.009 *и ГОСТ 12.3.002.*

Проектировщик должен разработать требования к подъемно-транспортному оборудованию, выполнению погрузочно-разгрузочных и транспортных работ для крупногабаритных узлов и деталей ВЭУ.

Выполнение погрузочно-разгрузочных операций и транспортирование оборудования ветроагрегатов в процессе установки и монтажа должно выполняться оборудованием, предназначенным для выполнения данного вида работ в соответствии с требованиями руководства, разработанного производителем. Технология выполнения работ должна соответствовать практическим рекомендациям производителя.

При выполнении подъема и монтажа лопастей, гондол, прочего аэродинамического оборудования и легких решетчатых конструкций должно быть предусмотрено страхование с помощью такелажных строп, канатов, подпорок и грунтовых якорей.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Персонал, занятый на выполнении подъемно-транспортных. строительных, монтажных работ, должен быть обеспечен соответствующими средствами личной безопасности и защиты. Минимальные средства личной защиты должны предусматривать защиту глаз. ног. органов слуха и головы е *соответствии с правилами [7].*

13 Ввод в эксплуатацию, эксплуатация и техническое обслуживание

13.1 Основные положения, реализуемые на этапах ввода в эксплуатацию, эксплуатации и при техническом обслуживании

При вводе ВЭУ в эксплуатацию должны *быть проведены приемо-сдаточные испытания оборудования в соответствии с ГОСТ Р 50571.16.*

В руководстве по эксплуатации и техническому обслуживанию должны быть подробно изложены операции по вводу в эксплуатацию, эксплуатации, техническим осмотрам и техническому обслуживанию 8ЭУ с соблюдением норм системы стандартов безопасности труда.

Все узлы и элементы конструкции ВЭУ должны быть снабжены специальным оборудованием, обеспечивающим безопасный доступ к ним для выполнения осмотров и технического обслуживания.

Требования раздела 10 также относятся к электрическому измерительному оборудованию, временно установленному на ВЭУ для выполнения измерений.

Обслуживающий персонал при выполнении работ, связанных с обслуживанием и эксплуатацией ВЭУ. должен использовать соответствующие рекомендованные средства защиты органов зрения, слуха. специальную обувь и головные уборы. Весь персонал, выполняющий верхолазные работы и работы на высоте, в том числе над поверхностью воды, должен быть обучен для выполнения данных видов работ. 8 процессе выполнения перечисленных видов работ персонал должен использовать соответствующие привязные ремни или другие устройства безопасности.

В случае выполнения работ над поверхностью воды необходимо предусмотреть плавучие спасательные средства.

13.2 Общие требования для осуществления безопасной эксплуатации, проведения осмотров и технического обслуживания ВЭУ

Управление процессом нормальной эксплуатации ВЭУ должно осуществляться оперативным персоналом. расположенным на уровне земли. Должна быть обеспечена возможность выполнения определенной. местной, ручной коррекции уставок автоматической системы/системы дистанционного управления.

Выявленные отказы, которые являются по отношению к ВЭУ внешними и не являются критическими для безопасности, типа потери и восстановления электрической нагрузки, должны допускать автоматический возврат к нормальной эксплуатации после завершения цикла выключения.

Ограждения, предусмотренные для защиты персонала от случайного контакта с подвижными и вращающимися элементами конструкции, которые в процессе эксплуатации подлежат частому осмотру, допускается выполнять подвижными/съемными. Ограждения подвижных и вращающихся элементов конструкции, осматриваемых редко, должны быть надежно закреплены.

Ограждения, защитные кожухи, закрывающие наружные движущиеся части трансмиссий, электрооборудования. должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.003.

Ограждения должны:

- быть прочной конструкции;
- не допускать легкого проникновения:
- по возможности позволять выполнять техническое обслуживание без демонтажа.

При проектировании должны быть предусмотрены устройства, обеспечивающие возможность подключения диагностического оборудования.

Для обеспечения гарантий безопасности обслуживающего и ремонтного персонала в конструкции 6ЭУ должны быть предусмотрены:

- безопасные проходы, пути доступа и рабочие места для осмотра и планового технического обслуживания:
- соответствующие средства защиты персонала от случайного контакта с вращающимися или движущимися частями машин и конструкций;

Электротехническая библиотека Elec.ru

• средства обеспечения безопасного функционирования и эксплуатации спасательных тросов, привязных ремней безопасности или других рекомендованных устройств безопасности при выполнении верхолазных работ и работ на высоте;

• устройства блокировки вращения ветроколеса. механизма ориентации на ветер, механизма поворота лопастей на период обслуживания в соответствии с режимами ветра и проектными ситуациями, определенными в ПСН 8.1. а также устройства для безопасной разблокировки;

• *сигнальные знаки и знаки безопасности в* соответствии с *ГОСТР 12.4.026:*

• элементы для осуществления защитного заземления металлических нетоковедущих частей изделия. которые могут оказаться под напряжением (при нарушении изоляции режима работы изделия);

• устройства соответствующей пожарной безопасности;

• аварийный запасной выход из гондолы.

Обслуживающий и ремонтный персонал, находящийся в закрытых пространствах (например, ступица (втулка) ветроколеса. лопасть), должен быть обеспечен средствами индивидуальной безопасности. гарантирующими незамедлительное информирование лиц. осуществляющих страховку, в случае возникновении опасной ситуации, и незамедлительного качала спасательных работ.

13.3 Инструкции по вводу в эксплуатацию

Производитель оборудования должен предоставить инструкции по вводу в эксплуатацию.

13.3.1 Подключение к сети

Подключение оборудования ВЭУ к электрической сети и его начальной запитки током должно быть произведено в соответствии с инструкцией по порядку подключения оборудования, предоставленной производителем, и подвергнуто приемо-сдаточным испытаниям.

13.3.2 Испытания при вводе в эксплуатацию

После установки и монтажа оборудование ВЭУ должно быть подвергнуто испытаниям для подтверждения соответствия проектным параметрам безопасной работы с заданными эксплуатационными параметрами всех приборов и устройств, систем управления и защиты. Испытания должны проводиться в соответствии с методиками, рекомендованными производителем. Перечень обязательного минимального количества проверяемых функций ВЭУ приведен ниже:

• надежное включение;

• надежное выключение;

- безопасное аварийное отключение;

• безопасное аварийное отключение при превышении скорости ветра или на основе его достоверного моделирования;

• проверка правильности функционирования системы защиты.

13.3.3 Документирование процедур по вводу в эксплуатацию

Описание испытаний, процедур по ееоду в эксплуатацию, регулированию параметров и полученные результаты должны *быть внесены е журнал* «ввод в *эксплуатацию».*

13.3.4 Действия после ввода в эксплуатацию

После завершения операций по вводу в эксплуатацию должны быть выполнены работы, предписанные производителем для периода «обкатки» или «приработки».

В обязательный, но не ограниченный, перечень работ входят:

• проверка и затяжка крепежных изделий:

• замена смазывающих жидкостей;

• проверка деталей и узлов на предмет их правильной установки и функционирования;

• коррекция контролируемых параметров.

Площадка, на которой установлена ВЭУ. должна быть очищена от посторонних предметов. На площадке должны быть проведены работы по предотвращению эрозии почвы.

13.4 Руководство по эксплуатации

13.4.1 Основные требования к руководству по эксплуатации

Руководство по эксплуатации является обязательным документом, входящим в комплект поставки оборудования. *Руководство по эксплуатации должно соответствовать ГОСТ 2.601 и 2.610.*

Руководство по эксплуатации также должно учитывать специфические местные особенности. выявленные к моменту ввода в эксплуатацию.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Обязательный, но не ограниченный перечень информации, который должен содержаться а руководстве по эксплуатации, приведен ниже.

Данный документ должен содержать:

а) перечень требований, которые должны выполняться в процессе эксплуатации специально об* ученным и подготовленным персоналом;

b) описание области устойчивой работы систем и интервалы соответствующих параметров;

c) процедуры нормального включения и выключения;

d) перечень возможных аварийных ситуаций;

e) порядок действий в аварийных ситуациях:

f) действия персонала при пожаре:

9) сведения по утилизации изделия и его составных частей:

h) установленные требования в отношении обязательности:

1) использования соответствующих, предназначенных для обеспечения безопасности персонала в процессе эксплуатации и технического обслуживания ВЭУ средств индивидуальной защиты персонала (специальной обуви, головных уборов, средств защиты органов слуха и зрения):

2) специальной подготовки персонала для выполнения верхолазных работ, работ на высоте, над поверхностью воды и использования специальных средств безопасности, предназначенных для выполнения перечисленных выше работ: поясов безопасности, страховочных устройств и прочих средств безопасности;

3} обеспечения присутствия плавучих спасательных средств в случае выполнения работ на/кад поверхностью воды:

4) обязательного предоставления обслуживающему и ремонтному персоналу руководства по эксплуатации и техническому обслуживанию на русском языке.

13.4.2 Инструкции по протоколированию процессов эксплуатации и технического обслуживания

В руководстве по эксплуатации должны быть установлены требования о необходимости отражения в журнале по эксплуатации и техническому обслуживанию процесса эксплуатации ВЭУ.

В журнале «Техническое обслуживание и эксплуатация» должна быть отражена следующая информация:

- маркировка ветроагрегатов:
- величина выработанной энергии:
- длительность времени работы:
- время пребывания в отключенном состоянии:
-дата и время выявления отказов;
-дата и время проведения планового обслуживания и ремонтов;
- описание причин отказов и обслуживания:
- описание предпринятых действий;
- перечень замененных деталей.

13.4.3 Инструкция о порядке действия персонала при незапланированных автоматических остановках

В Руководстве должно быть установлено требование о необходимости выявления оператором причин незапланированного автоматического выключения ВЭУ и запрете повторного ее пуска до устранения причин отказа или сбоя. Исключением являются случаи, предусмотренные производителем и перечисленные в руководстве по эксплуатации. Все незапланированные автоматические выключения должны быть зарегистрированы.

13.4.4 Инструкции для предупреждения снижения уровня надежности

В руководстве должны содержаться требования по выявлению, предупреждению и устранению основной причины любого признака ненормального функционирования или уменьшения надежности.

13.4.5 Планирование работ по техническому обслуживанию и ремонту

В руководстве должны быть установлены требования по обеспечению безопасного процесса эксплуатации 8ЭУ. включая:

• эксплуатацию электрических систем:
- график работ по обслуживанию и ремонту;
• описание процедур по поддержанию оборудования в чистоте:
• описание верхолазных работ и работ на высоте;
• описание технологии использования по назначению, техническою обслуживания, текущею ремонта. хранения и транспортирования оборудования:

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

• порядок действий при плохой погоде;

. процедуры по поддержанию связи и порядку действий в аварийных ситуациях.

13.4.6 Порядок действий в аварийных ситуациях

При проектировании ВЭУ должна быть *обеспечена безопасность персонала и* оборудования, в том *числе пожарная безопасность в* соответствии с ГОСТ *12.1.004, злектробезопасность е со-ответствии с ГОСТ Р 12.1.019* и учтены аварийные ситуации, возникновение которых возможно в процессе эксплуатации, а их описание и порядок действий персонала изложены в руководстве по эко плуатации.

8 руководстве должно содержаться требование, запрещающее персоналу приближаться к 6ЭУ. если на ней возник пожар или существует реальная угроза разрушения конструкции, до тех пор. пока риск точно не установлен.

При разработке порядка действий в аварийных ситуациях необходимо принять во внимание, что угроза разрушения конструкции ВЭУ возрастает в случае:

• высоких скоростей ветра:

• гололеда:

• грозы, ударов молний:

• сейсмических явлений;

• разрыва или ослабления анкерных растяжек:

• аварии тормоза:

• дисбаланса ветрокопеса;

• ослабления крепежа:

• отказов в системе смазки;

• пыльных бурь:

• пожара и наводнения:

• прочих видов аварий.

13.5 Руководство по техническому обслуживанию

Производитель должен разработать для каждой модели ВЭУ руководство по техническому обслу-живанию. В каждом руководстве должны быть перечислены требования и приведены описания работ по техническому обслуживанию, а также должен быть приведен перечень возможных поломок и отказов. Руководство должно также содержать описания работ по внеплановому техническому обслуживанию.

В руководстве по техническому обслуживанию должен быть приведен список расходных матери-алов и изнашиваемых деталей и установлены критерии их замены.

8 руководстве должны быть установлены следующие требования:

• требование к подготовке персонала: к выполнению любого вида работ (осмотров и технического обслуживания) допускается только специально обученный и подготовленный для выполнения данных видов работ персонал. Работы по техническому обслуживанию и осмотры должны выполняться через заданные интервалы времени и в соответствии с инструкциями, приведенными в руководстве по тех-ническому обслуживанию ВЭУ:

• описание конструкции ВЭУ и ее составных частей, принципа действия оборудования с указани-ем характеристик оборудования;

• график проведения смазочных работ, предписывающий частоту смазывания, виды смазок или других специальных жидкостей, критерии замены смазки;

• *критерии оценки технического состояния оборудования при* определении необходимости *от-правки его в ремонт, процедуры повторной приемки:*

• графики технических осмотров и описание выполняемых работ:

• процедуры контроля работоспособности систем защиты и управления:

• графики осмотра и подтяжки растяжек и болтовых соединений, графики проверки контролируе-мых ответственных резьбовых соединений, включая контроль осевого растяжения и момента в резьбе;

• полная электрическая схема и схема межэлементных соединений;

• руководство по выявлению и устранению неисправностей;

• список рекомендованных расходных материалов и запасных частей, перечень изнашивающихся деталей и элементов конструкции с обозначением критериев их замены;

• комплект чертежей по сборке в полевых условиях и по установке и монтажу оборудования;

• список требующихся инструментов и приспособлений.

Электротехническая библиотека Elec.ru

14 Охрана окружающей среды

Экологическая безопасность ВЭУ должна быть обеспечена на этапе исследований на стадии инициации проекта и в течение всего ее жизненного цикла (периода строительства, эксплуатации и ликвидации).

В проект охраны окружающей среды должны быть включены мероприятия по защите природной среды и жизненно важных интересов людей от возможных негативных воздействий ВЭУ. а также чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и их последствий.

В проекте должны быть учтены следующие виды воздействий ВЭУ на окружающую среду:

• электромагнитное:

- экранирующее (затенение padapoej;

• воздействие на флору и фауну:

• ландшафтное загрязнение:

- шумовое.

Допустимые уровни шума на территории жилой застройки не должны превышать допустимых показателей согласно требованиям (9) Федерального закона #0 санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

Примечание — в соответствии с (10] в состав проекта ВЭУ должен быть включен раздел «Охрана окружающей среды». Раздел "Охрана окружающей среды» в соответствии (9) и (10) должен предусматривать выполнение комплекса мероприятий по охране окружающей среды от загрязнений и рациональному использованию природных ресурсов, оценке воздействия на окружающую среду с учетом фонового загрязнения.

15 Требования по утилизации (ликвидации) ВЭУ

При ликвидации ВЭУ должны быть выполнены все нормы и требования промышленной, экологической. санитарной безопасности и социологические требования, действующие е период ликвидации объекта.

Ликвидация ВЭУ. ВЭС. ВДЭС должна производиться в соответствии со специально разработанным проектом.

Примечание — Раздел 15 введен в соответствии с требованиями технических регламентов.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Приложение А
(обязательное)

Проектные данные для конструирования ВЭУ класса S

При проектировании ВЭУ класса S в проектной документации должны быть указаны следующие данные:

Технические характеристики ветроагрегата:	
Номинальная мощность	кВт
Рабочий интервал скоростей ветра на уровне центра ветроколеса I^,- м/с	
Проектный срок службы	год
Параметры ветра	
Характеристика интенсивности турбулентности как функции средней скорости ветра для НМТ и ЭМТ	
Среднегодовая скорость ветра	м/с
Осредненный угол наклона набегающего потока	_в
Распределение скорости ветра (Вейбулл. Рэлей, измерения, другой), модель профиля	
Модегъ профиля ветра и параметры	
Модель турбулентности и параметры	
Экстремальные скорости ветра на уровне центра ветроколеса и $V_{0}c\,q$	м/с
Модель экстремального порыва ветра и параметры для периода повторяемости 1 и 50 лет	
Модель экстремального изменения направления параметры для периода повторяемости 1 и 50 пет	
Модель экстремального когерентного порыва ветра и параметры	
Модель экстремального когерентного порыва ветра с изменением направления	
Модель экстремального сдвига ветра и параметры	
Условия, накладываемые сетью подключения	
Номинальное напряжение сети и его диапазон	В
Номинальная частота и диапазон	Гц
Асимметрия напряжений	В
Наибольшая продолжительность отключения от сети	день
Количество отключений электрической сети	1/год
Автоматическое повторное включение АПВ (описание)	
Режим работы при внешнем симметричном и несимметричном коротком замыкании (описание)	
Прочие условия окружающей среды, которые следует учесть (при их наличии)	
Проектные условия для ВЭУ морского базирования: глубина воды. волновая обстановка и аналогичное;	
Нормальный и экстремальный диапазон температур	°С
Относигегъная влажность воздуха	%
Плотность воздуха	кг/м³
Солнечная радиация	Вт/м²
Дождь, град, снег и гололед	
Химически активные вещества в атмосфере	
Запыленность атмосферы (механические частицы)	
Описание системы молниезащиты	
Модель землетрясения и параметры	
Соляной туман	т/м³

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Приложение В
(справочное)

Модели турбулентности

В настоящем приложении для определения расчетной нагрузки приведены две модели турбулентности. Предполагается, что турбулентные пульсации скорости являются стационарным полем случайных векторов, составляющие которого имеют гауссово статистическое распределение с нулевым математическим ожиданием. Рекомендуется применять первую из указанных ниже моделей:

- модель однородного сдвига Манна:
- спектральная и экспоненциальная когерентная модель Каймалэ.

Параметры для данных моделей были выбраны с учетом удовлетворения основным требованиям к турбулентности. приведенным е 6.3.

В.1 Модель однородного сдвига Манна (1994)

Описание этой модели несколько отличается от предыдущих моделей гем. что здесь определен трехмерный спектральный тензор скорости. Модель предполагает, что изотропный энергетический спектр Кармана быстро искажается однородным сдвигом средней скорости. Спектральные компоненты тензора представляются выражениями:

Фц(*1-*2-*э) = ""г(*0 -*?-2М*Э +Р(*)*l)Ci+(*i + *!)£l)* (В.1)

Ф22(*1-*2-*з) = ^ 4^1*0 ~ *f -2*2(*3+Р(*)*l)52+(*1 +*2Н!)- 4як$ ' , (В.2)

Ф 3 3 = 411*0 *И' (В.3)

Ф12(*1.*2.*з)= "*1*2 -*1 (Лз+Р(А)^)С2 -кг{^3 +Р(*)*l)5i + (A? +*|)^1^21* (В.4)

Ф1з(*1-*2-*з) = [-vl (~*1 (*Э + Р(*)М + (*? + *f)Cl)- (В.5)

Ф23 (*V*2■кз) = л!2.2f'*2 (*3 + Р(*) М + (*? + *2)] * AkKqk ( ) (В.6)

где ф#<*,.*2-*з)« Ф) (*,.*2**з) « Jy J I I R t f o b W * ^ 8 ^ 8 3 .

A^{$1.б2,8з)в-^-в(ц*(х1.Х2.хз)и,-|х1 +/&1.Х2 +/5г.*э +'6э)} безразмерный тензор корреляции:

у,. ц2. из — продольная, боковая и нормальная составляющие скорости ветра соответственно;

6,. 8j. S3 — безразмерные пространственные составляющие вектора;

к2^^безразмерные пространственные волновые числа для грех направлений;

к= Jkf + к2 + kj — величина модуля вектора волнового числа;

Электротехническая библиотека Elec.ru

fc0 = ^2 + 2p|ft)fc,A3 + (p(fc)fc1)Z — величина *к* до искажения при сдвиге:

=C1~T'C2' «1 «1 ^2 = '^-C1 +C2-

«*)*?(*?+*! -*3(*3 + PW*i))

*2(^1) '

^2*0 flfCt f P(*)*lV*?+*2

(*2 + fc|^ (fco2-(fr3+PW)*lP(*) '

$E(k) = \frac{1453k^4}{\left(1+k^2\right)^{17/6}}$ безразмерный изотропный спектр энергии Кармана:

P(*)- Y / $k^{\frac{2}{3}}\sqrt{{}_2F_1\left(\frac{1}{3},\frac{17}{6},\frac{4}{3},-k^{-2}\right)}$ — безразмерное время искажения, обратно прооорционагънов $\sqrt{k^2\int_k^{\infty}E(p)dp}$;

— гипергеометрическая функция:

o^,/ — изотропная дисперсия и масштабный параметр при отсутствии сдвига соответственно, и

у — безразмерный параметр искажения при сдвиге.

Данная модель является более сложной, чем изотропная модель Кармана, однако она содержит только один дополнительный параметр искажения при сдвиге *у.* При у = 0. эта модель превращается в изотропную модель. При увеличении у продольная и боковая дисперсии скорости возрастают, нормальная компонента дисперсии скорости уменьшается. Результирующая турбулентная вихревая структура растягивается в продольном направлении и отклоняется от плоскости 1-2.

Предполагая, что поле случайных скоростей, генерируемое моделью, переносится через ветрокопесо при скорости ветра, определенной на оси ветроколвса. спектр компоненты скорости, наблюдаемый в точке, мажет быть получен интегрированием компонент спектрального тензора. В частности, одномерный спектр дается выражением

L /2яf f)

of of {Vfti* j MVfHrtJ (В.7)

где 'Vq (fcj} s J j Фу ^2^3 — одномерный автоспектр волнового числа для / = у, или взаимной спектральности для; * }

-t~ fee

o2 = jJj — составляющие дисперсии.

Аналогично, для пространственных разделений, нормальных к продольному направлению функция когерентности определяется выражением:

$$Co\,^(/,/S_2,/5_3) = \frac{\left|\int\limits_{-\infty}^{\infty}\int\limits_{-\infty}^{\infty}\Phi_{ij}\left(\frac{2\pi f}{V_{hub}},k_2,k_3\right)e^{-ik_2\delta_2}e^{-ik_3\delta_3}dk_2dk_3\right|}{\sqrt{\Psi_{ii}\left(\frac{2\pi f}{V_{hub}}\right)\Psi_{jj}\left(\frac{2\pi f}{V_{hub}}\right)}} \quad (В.8)$$

К сожалению, результирующие интегралы не выражаются в аналитическом виде и должны определяться численными методами для конкретных значений параметра у. Манн (1998) выполнил такое интегрирование и сравнил результаты со спектральной моделью Каймала. По наименьшим квадратам, удовлетворяющим модели Каймала. получен параметр сдвига

Т® 3.9. (В.9)

с результирующими соотношениями для дисперсии:

of =3,25(4, ^2.* 0.7

o|=1.65(4 (В.Ю)

o| =0.85(4 —* 0.5

Следует отметить, что результирующая боковая дисперсия немного меньше, чем в таблице В.1.

Масштаб может быть найден по асимптотике для инерционной подобласти продольного спектра. Отсюда:

0.4754%=0.05off-^-l \ V/iub > \ Vhub) K»/ = 0.8Л$_Г$ (В.11>

Таким образом, три параметра, необходимые для использования модели Маша, составляют:

-7=3.9;

-a$_{/so}$ = 0.55a,; (В.12)

-*l*-0.8Л,.

где а, и Л, определены в 6.3.

Для трехмерных моделей турбулентности составляющие скорости определяются разложением спектрального тензора и аппроксимацией в виде преобразования Фурье. Таким образом, трехмерная пространственная область распадается на равноудаленные изолированные точки, и вектор скорости в каждой точке определяется

(x.y.z) .jA*yk,+*k, Я|(*1.*2.*Э)

U2(*.y.z) = I в ' L^c(M2*3)J ^{*1-*2-*з}

Oэ(X.y.2) /»з(*1.*2-*з}.

ГД® [CfMj.AjjJ-o, 4 2я1ЭE{K$_0$) *2*И *3 ■ *1$1 + 0*1 “*2

*252~*3"0*1 “*1?2 *1

*0*2 *0*1

с/, .(/2. (/3 — компоненты комплексного вектора, действительные и мнимые части которых представляют независимые реализации поля турбулентных скоростей;

л, ,г>2. г>з — комплексные случайные гауссовы величины, которые являются независимыми для каждого отдельного волнового числа и имеют действительную и мнимую части с дисперсией модуля;

x. y, z — координаты точек в пространственной системе координат;

W3 — число точек в пространственной системе координат в трех направлениях, и

Л — пространственное разрешение.

В этом выражении символ £ —означает суммирование по всем безразмерным волновым числам, ко-

торов может быть выполнено методом Фурье (FFT).

В тех случаях, когда пространственная область в любом направлении меньше *81.* рекомендуется выполнить корректировку для разложения спектрального тензора {С(А,. *к$_2$.* А3)]. Эта процедура подробно изложена Манном (1998).

Электротехническая библиотека Elec.ru

В.2 Спектральная и экспоненциальная когерентные модели Каймала (1972)[1]

Спектральные плотности мощности составляющих даются в безразмерном виде уравнением;

(В 14)

(u

где f— частота в Гц;

κ — индекс, указывающий направление составляющей вектора скорости (1 — продольная. 2 — боковая. 3 — нормальная):

— одномерный спектр составляющей вектора скорости;

о* — сроднее квадратическое отклонение составляющей вектора скорости (см. формулу (В.2)):

L_k — интегральный масштаб κ-й составляющей вектора скорости:

(В. 15)

о

Спектральные параметры турбулентности даны в таблице В.1.

Т а б л и ц а В.1 — Спектральные параметры турбулентности для модели Каймала

	Индекс составляющей вектора скорости		
	1	2	Э
Среднее квадратическое отклонение составляющей вектора скорости $Т_к$	°!	0,8а,	0.5а,
Интегральный масштаб вдоль направления А-ой составляющей вектора скорости L_k	8.1Л,	2.7л,	0.66Л,

Здесь о, и Л, — среднее квадратическое отклонение и масштаб турбулентности, установленные 8 настоящем стандарте.

В.3.Экспоненциальная когерентная модель

Для вычисления структуры пространственной корреляции продольной составляющей вектора скорости может использоваться следующая экспоненциальная когерентная модель совместно с автосле*тральной моделью Каймала:

Coh(r.f)* exp -в.в((Г r/V^)1 2 -н(0.12гДс Г) 2 Д5 J 2 (В.16)

где Coh(r,0 — функция когерентности, определенная совокупной величиной взаимной спектральной плотности продольных составляющих вектора скорости в двух пространственно-удаленных точках, разделенных автоспектральной функцией:

$г$ — величина проекции вектора разделения между двумя точками на плоскость, перпендикулярную к направлению вектора средней скорости ветра:

/— частота. Гц:

L_e = 8.1л, — масштаб когерентности.

[1] Дисперсионные отношения для составляющих турбулентности в таблице В.1 и в выражении для восходящей составляющей скорости несколько отличаются от оригинагьной спектральной модели Каймала. Продогъный масштаб (а также боковой и нормальный) был выбран для аппроксимации оригинального спектра Каймала. чтобы удовлетворить требованиям к спектру, установленным е п. 6.3, для асимптотического инерциального поддиапазона и дисперсионных отношений, данных в таблице В. 1

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Приложение С
(справочное)

Расчет сейсмических нагрузок

Упрощенный консервативный метод расчета сейсмических нагрузок, представленный в данном приложении, рекомендуется применять в тех случаях, коща необходимость выполнения комплексного анализа не очевидна.

Основными упрощениями данного метода являются: игнорирование форм собственных колебаний башни выше, чем первая форма изгиба и предположение, что все элементы конструкции испытывают одно и то же ускорение. Игнорирование второй формы является существенным неконсервативным упрощением и компенсируется тем. что масса элементов конструкции, расположенных в верхней части ВЭУ. вхлючаег также массу башни и к этой же точке прикладывается недиссипашвная аэродинамическая нагрузка.

Метод определения ускорений основания должен также соответствовать 11.6. При отсутствии точных данных для рассматриваемой площадки должны быть сделаны консервативные предположения. В данном приложении использована терминология *строительных* норм *и* правил *(1J.*

Порядок расчета включает следующие шаги:

- оценку *сейсмичности площадки и свойств грунтов в соответствии со СНиП {1}:*

• использование спектра нормированных сейсмических реакций и коэффициента, учитывающего степень сейсмической опасности зоны, для определения ускорения, соответствующего первому тону собственных колебаний башни, в предположении 1 %-ного критического демпфирования:

• вычисление нагрузки для системы, испытывающей вышеупомянутое ускорение, если масса ветрокопеса. гондолы и 50 % массы башни сконцентрированы в верхней точке башни:

- вычисление суммарной нагрузки от действия упомянутой выше сейсмической нагрузки и нормативной нагрузки. определенной для случая аварийной остановки при номинальной скорости ветра:

• сравнение полученного результата с расчетными нагрузками или расчетным сопротивлением ВЭУ.

Если башня может выдержать суммарную нагрузку, то дагьнейших расчетов не требуется. В противном случае должны быть выполнены расчеты согласно 11.6.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Приложение О
(справочное)

Оценка эффекта аэродинамического затенения и турбулентности на площадках ВЭС

0.1 Влияние аэродинамических следов

Влияние аэродинамических следов соседних ВЭУ для случая нормальной эксплуатации может быть учтено в расчетах по усталостным нагрузкам на основе эффективной интенсивности турбулентности предложенной Франдсеном (2007). Эффективная интенсивность турбулентности, приведенная к высоте оси ветроколеса для средней скорости ветра, может быть определена как

т

(Чтоь)= / ■ |D-’>

|де — скорость ветра на высоте оси ветроколеса:

р— функция плотности вероятности направления ветра:

/ — интенсивность турбулентности, включающая окружающую турбулентность внутри ветроэлектростанции и турбулентность аэродинамических следов в направлении 0 воздушного потока;

m — показатель степени кривой усталости Веллера для рассматриваемого материала (S-W-кривая).

При дальнейшем рассмотрении принимается однородное распределение р(в|$У_{йиь}$). Приведенные формулы можно также откорректировать для неоднородных распределений[1]).

В расчете не следует принимать какое-либо уменьшение средней скорости ветра внутри площадки с установленными ВЭУ:

если ттл{4} 2 10. (D.2)

то Ос

если minfdj < 10.

1

го'*г- О+ЯГ – 1 / ^hub tyiub (1-NpJo^m+р,,£(£(^)|"; р„=0.Q6. (D.3)

где Ос =о + t28o. — характеристическое значение стандартного отклонения турбулентности воздушного потока окружающей среды;

$о_с$ — расчетное стандартное отклонение турбулентности окружающего воздушного пространства;

$о_в$ — расчетное стандартное отклонение стандартного отклонения турбулентности окружающего воздушного пространства:

a_T = "hub / 115 + O.Bd, / f'T — максимальная дисперсия турбулентности в центре аэродинамического следа на оси ветрокопеса{ $о_с$ не следует рассматривать в качестве характеристики, связанной с собственной турбулентностью воздушного пространства внутри ВЭС);

Cj— является удельным значением коэффициента использования энергии ветра ВЭУ для соответствующей скорости ветра на высоте оси ветроколеса: если коэффициент использования энергии ветра для соседних ветроустановок не известен, то рекомендуется принять общий для всех коэффициент $С_г$ = 7 с /$У_{Ли4г}$

dj — отношение расстояния от рассматриваемой ВЭУ до соседней ВЭУ с номером i к диаметру ветроколеса;

с — константа, равная 1 м/с;

W— эффективная интенсивность турбулентности:

[1]> В случае неоднородного закона распределения направления скорости, функция $р_w$ может быть откорректирована коэффициентом, равным отношению существующей вероятности направления ветра (в направлении соседних ВЭУ) к вероятности, соответствующей однородному распределению направления ветра.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

N— число соседних ВЭУ:

m — показатель степени кривой усталости Веллера для материала рассматриваемого элемента конструкции.

Влиянием аэродинамических следов от ВЭУ. расположенных за другими установками, пренебрегают. Например. для ВЭУ. расположенных в ряд. должно быть учтено влияние только двух установок, самых близких к рассматриваемой. Число ближайших ВЭУ. которые должны быть включены в расчет I_{cff} приведено ниже в таблице в зависимости от конфигурации размещения вегроустаноеок.

Конфигурация размещения вегроустаноеок на площадке, с числом рядов более 2. приведена в таблице 0.1 и рисунке 0.1.

Таблица 0.1 — Конфигурация размещения вегроустаноеок

Конфигурация размещения ветроусганоаок	*N*
2 ВЭУ	1
1 ряд	2
2 ряда	5
Внутри площадки, имеющей более 2 рядов	8

На площадках с большим количеством установленных ВЭУ наблюдается тенденция к созданию ими собственной турбулентности воздушного пространства внутри ВЭС. Таким образом, когда:

а) число ВЭУ от рассматриваемой установки до «края» площадки — больше пяти, или

b) расстояние в рядах, перпендикулярных к преобладающему направлению ветра, менее 30. тогда следующая величина дисперсии окружающей турбулентности должна быть принята вместо o_c. кроме выражения для гту:

^{^7 +<т|-128о$_0$ 1D.4)

где с* = $\frac{0.36VU}{1 + 0.2-}$ <0.5)

d,n df—выраженные в диаметрах еетрокопеса расстояния в ряду между ВЭУ и между радами соответственно.

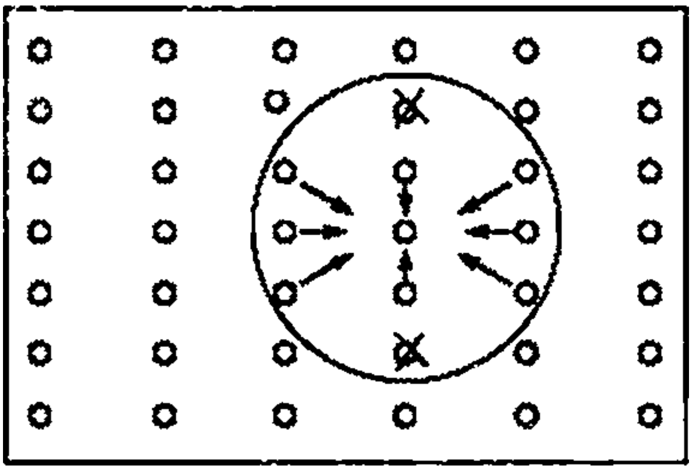


Рисунок 0.1 — Конфигурация размещения вегроустаноеок на площадке с числом радов более 2

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Приложение Е
(справочное)

Прогнозирование распределения ветра для площадок размещения ВЭУ на основе метода «Измерение — сопоставление — прогноз» (ИСП)

Оценка пригодности ВЭУ для размещения на конкретной площадке требует определения критических для проекта параметров скорости ветра на данной площадке. Для выполнения оценки часто бывает недостаточно данных. даже измеренных в одной точке на площадке размещения. Однако можно создать расширенный ряд данных с помощью экстраполяции, основанной на рядах данных долговременных наблюдений, полученных для другого местоположения. Методы ИСП являются средством, позволяющим создать расширенный ряд данных. Приведенные ниже объяснения взяты из работы «Прогнозирование экстремальной скорости ветра на ветроэнергетических площадках, ряд руководящих документов, подготовленных по контракту ETSU W/11/00427/00* Национальным подразделением ветроэнергетических и климатических исследований Университета Восточной Англии.

Е.1 Метод «Измерение—сопоставление—прогноз» (ИСП)

Метод ИСП имеет несколько видов, в которых изменяются период осреднения данных и характер их направленности. Версия, изложенная здесь, основана на почасовых данных, полученных параллельно на площадке ВЭУ и соседней метеорологической станции (МС). Эти данные взаимозависимы и используются для получения уравнений линейной регрессии для всех секторов. *Угол* сектора, составляющий 30*. является совместимым с используемым МС. Наборы данных, используемые для получения уравнений регрессии, должны быть максимально длинными, как минимум обеспечивать полное покрытие полной части любых сезонных изменений.

Е.2 Применение для вычисления среднегодовой скорости ветра и распределения

Вышеупомянутые уравнения регрессии применяются к долговреметым данным МС сектор за сектором. Чтобы исключить кратковременные вариации, необходимо иметь данные МС для достаточно долгого периода (по крайней мере. 7 лет). В результате получаются почасовые средние данные для площадки. Полученные средние данные должны быть преобразованы в вероятностное распределение для оценки площадки.

Е.3 Применение для вычисления экстремальной скорости ветра

Классическим методом для прогнозирования экстремальной скорости ветра является модифицированный анализ Гумбеля (например Best Leiblein Unbiased Estimators (BLUE), описанный в «Руководстве для проектировщиков по расчету ветровых нагрузок строительных конструкций» N J Cook. Butterworths. 1995). В данном расчете рекомендуется рассматривать ряд данных, представляющих период не менее десяти лет.

Также возможно применить метод независимых штормов (МНШ), в основу которого положен метод Гумбеля. Данный метод, также описанный Куком, основан на использовании более, чем одной точки в наборе годовых данных. Названный метод может использоваться для рядов данных, продолжительность которых составляет семь пет. В соответствии с МНШ выбираются отдельные штормовые пиковые скорости ветра путем сравнения с порогоаьми значениями и фильтрацией по времени, чтобы гарантировать принадлежность значений величин независимым событиям.

Коэффициенты регрессии, учитывающие специфические особенности секторов, используются в таблице почасовых максимальных скоростей ветра на МС для годовых данных (базовый анализ Гумбеля и штормы МНШ) и секторов. Аналогичная таблица также создается для площадки ВЭУ. Для каждого года извлекается наибольшая наблюдающаяся на предполагаемой площадке величина скорости, которая используется в методе Гумбеля.

Использование здесь этих коэффициентов является обоснованным, так как они были получены из средних почасовых данных и применяются к средним почасовым данным. Этот метод не предполагает, что секторы на предполагаемой площадке и базовой, в которых возникают максимальные величины скорости, должны совпадать. Максимальные величины скоростей на предполагаемых площадках рекомендуется более точно определять с помощью коэффициентов регрессии, учитывающих специфические особенности секторов, принимая во внимание специфические особенности площадки.

Выбор подходящего периода повторяемости в расчете экстремальных величин должен принимать во внимание число событий в год.

Параметры порыва ветра должны быть определены из данных, полученных на площадке, или теоретическими методами.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Приложение F
(справочное)

Статистическая экстраполяция нагрузок для расчета по предельным нагрузкам

F.1 Основные положения

Отказ элемента конструкции возникает, когда напряжение в критическом сечении превышает несущую способность материала рассматриваемого элемента. Предполагая, что местные напряжения связаны с внешней нагрузкой таким образом, что напряжение пропорционально растет с ее увеличением, прочность элемента конструкции может быть определена через предельную нагрузку, вызывающую отхаз (разрушение). Соответствие конструкции условиям прочности может быть проверено для различных случаев рабочих нагрузок на основе сравнения экстремальных величин возникающих нагрузок с предельной прочностью, используя соответствующие коэффициенты безопасности.

Для ветроустаноеок нагрузка зависит от турбулентности набегающего воздушного потока, которая изменяется в зависимости от параметров ветра. Таким образом, необходимо рассчитать экстремальные значения статических нагрузок для определения соответствующей расчетной номинальной нагрузки.

Для рассматриваемого состояния ветрового потока целесообразно использовать модель ответной реакции как статический случайный процесс. Учитывая это. нагрузки могут быть представлены в виде таких процессов. Методы, изложенные далее, используются для извлечения данных для экстраполяции и экстраполяции нагрузок. Также предложены критерии сходимости и приведен альтернативный вариант для оценки длительно действующих нагрузок, использующий обратный первого порядка метод надежности (1FORM).

Данные методы были проверены для 3-х лопастных ветроустаноеок с горизонтальной осью вращения, расположенных по набегающему воздушному потоку перед башней. Для других конструкций ВЭУ и/или схем управления. включая обратную связь по нагрузкам, может потребоваться особое внимание. Богыдев количество информации и руководство приведено в F 6.

F.2 Извлечение данных для выполнения экстраполяции

Данные, используемые при экстраполяции, извлекаются из временных рядов моделирования, соответствующих рабочему состоянию ВЭУ в установленном диапазоне параметров набегающего воздушного потока.

Данные могут быть извлечены на основе выбора отдельных глобальных экстремальных реакций из каждого моделирования или некоторого подмножества, созданного разделением данных моделирования в блоки, имеющие одинаковые временные интервалы, или обеспечением минимального временного разделения между экстремальными значениями.

Установление независимости между отдельными экстремальными реакциями является важным для некоторых методов экстраполяции. При извлечении данных проектировщик должен учесть эффект взаимонезаисимости между пиками на экстраполяцию и минимизировать зависимость, когда это возможно. Если выбранный для экстраполяции метод чувствителен в отношении допущения о независимости (например, метод привлекает функции вероятности преобразования между базами времени), то проектировщик должен попытаться выполнить статистическую проверку на независимость.

Простой подход, гарантирующий независимость, состоит в предположении, что глобальный экстремум в каждом десятиминутном моделировании или локагьные экстремуьы, находящиеся в интервалах не короче чем три цикла реакций, являются независимыми. Таким образом, они требуют разделения минимальными интервалами времени между отдельными экстремальными реакциями в циклах, содержащих по три реакции (определенных тремя средними пересечениями в блоке). Если желательно применение систематического статистического подхода. то проектировщик может осуществить проверку на независимость, используя стандартные методы оценки (например. F.6. (5]. (6]) и затем минимизировать зависимость контролируемым методом.

Методы пороговых пиков могут также использоваться, но проектировщик должен проявить внимательность, чтобы ошибки усечения и корреляции, введенные порогом, не повлияли существенным обра»м на форму эмпирического распределения.

F.3 Методы экстраполяции нагрузок

F.3.1 Основные положения

Предлагаемые методы определения нагрузки, вызванной воздействием ветрового потока, возникающим один раз в 50 лет. на основе экстраполяции экстремальных случаев нагружения аетроустановки могут быть представлены в виде следующих процедур:

а) Параметрическая подгонка с последующим объединением

Деление рабочего диапазона аетроустановхи на дискретные скорости ветра и выполнение ео временной области моделирования при нормальном уровне турбулентности (НМТ). Расчет экстремального значения (параметрического) распределения [2] для каждой взятой скорости ветра. Объединение всех распределений в функцию

Электротехническая библиотека Elec.ru

распределения средней скорости ветра на большом интервале времени. Прогнозирование величины скорости ветра. возникающей один раз в 50 лет, на основе объединенной функции распределения. Для глобагьного экстремума из 10-минугных моделирований вероятность 50-летней нагрузки составляет 3.8 - 10'7.

Ь) Объединение данных с последующей подгонкой

Деление рабочего диапазона ветроустановки на дискретные скорости ветра и выполнение во временной области моделирования при нормальном уровне турбулентности (НМТ). Объединение всех соответствующих экстремальных значений из всех временных областей моделирования в функцию распределения средней скорости ветра на большом интервале времени для рабочего диапазона ветроустановки. Определение всех экстремумов для одной (объединенной) функции распределения. Прогнозирование величины скорости ветра, возникающей один раз в 50 лег. на основе полученной функции распределения. Для выбранного периода наблюдения *T.* чтобы получить эмпирическую функцию распределения для этого же большого периода времени, рассматриваются два различных способа объединения экстремумов смоделированных распределений на малых временных ттервалах: экстраполяция на основе глобальных и локальных экстремумов

F.3.2 Глобальные экстремумы

Глобальные экстремумы распределения для малых временных интервалов для выбранного периода наблюдения 7. обозначены

<*t>

где s — реакция, возникающая в результате воздействия нагрузки.

Из этого, на основе применения распределения для средних скоростей ветра на большом интервале времени, получаем функцию распределения экстремальных значений на большом интервале времени

$$\int^{V} (s \mid V;T)7(V)<\#V . \qquad (F.2)$$

Величина экстремальной реакции s, для желаемого периода повторения T_f может быть получена из следующего равенства

$$Ffang\text{-}tomt\ (s, Г) = 1 - —. N\ я — \qquad (F.3)$$

Практическое применение этих формул мажет быть типичным для дисхретмых значений скорости ветра. Тогда получаем

АГ

(F-4)

Распределение получено подгонкой к эмпирическому распределению

$$F_{short\ term}(Slri \mid Ч) \sim \_ \quad n_k+1 \quad *-\%-.П_k . \qquad (F.5)$$

где Sjy — r-e экстремальное значение выборки из fc-й скорости ветра;

г, — 5№ ранг n_k экстремумов, получаемый из скорости ветра *к.*

Для исследования, приведенного далее, следует заметить, что эквивалентное выражение для описания эмпирического распределения на основе суммирования представлено выражением

$$г*ЛогЫеял(S_{fa}ivn=i—Г=Г....Л*. \; /\text{-}1ПА+1 \qquad (F.6)$$

где индикаторная функция имеет выражение

$$'<*)- \begin{cases} 1 & X\ S\ 0 \\ 0 & X > 0 \end{cases} \qquad (F.7)$$

Назначение индикаторной функции состоит в том. чтобы исключить все значения, меньшие или равные поскольку они могут повлиять на эмпирическое распределение, имея величину менее или равную . Следует отметить, что такое определение индикаторной функции обеспечивает реализацию события, идентичного экстремальному значению е соответствии с принятым методом.

F.3.3 Локальные экстремумы

Теперь получим для выбранного интервала наблюдений 7 глобальные экстремумы распределений на малых интервалах времени из величтн -независимых локальных экстремальных величин в периодах времени (полагая. что экстремумы положительны, в противном случае, допускается изменить знак)

<* *W-T)* = *F*^ (s IW*. (F.8)

Функция распределения на большом интервале времени определена в соответствии с F.9. а величина экстремальной реакции s_r на рассматриваемом периоде повторения скорости ветра 7^ устанавливается в соответствии с изложенным в предыдущем подпункте.

Должно быть выполнено строгое условие, что *п* является случайным числом, для которого распределение зависит от *V.*

Однако *п,* в случае его применения для ветроустаноеок. имеет ограниченное число вариаций по сравнению с его средним значением. Следовательно, замене л его средним значением, нормализованным по *V.* как это сделано выше, является достаточно точным. Данное допущение может быть принято, если в приведенных ниже формулах используется s — величина, представляющая скорости ветра, которые вносят наибольший вклад в величину рассматриваемой удельной реакции. Основываясь на данных допущениях, получаем следующие выражения

fbng «ылЛПП» J *F^isW.Tff^dV.* (F.9)

Ч.

(F.10)

F.3.4 Эмпирические распределения на больших интервалах времени

Существуют некоторые преимущества при объединении данных, полученных из всех скоростей ветра, и последующего подбора функции распределения для скомбинированных данных. Одним из методов, предназначенных для этого, является вычисление для каждого бина скорости ветра ряда моделирований на основе функции распределения Вейбулла (или иной подходящей функции).

$P^* = W_k)AV_k$, У*, S V| <... < S Удщ. (F.11)

Коль скоро моделирования выполнены и извлечены максимумы, все максимальные значения, полученные из всех скоростей ветра, объединяются е отдельное распределение и ранжируются в соответствии с

= / = 1....Л($_0$|а» ■ (Г-12)

где S, — экстремальная величина нй выборки по всем скоростям ветра;

m, - s ,-h ранг среди л всех экстремумов, полученных из скомбинированного распределения.

Одним из потенциальных недостатков данного метода является то. что доминирующие нагрузки, обусловленные высокими скоростями ветра, могут иметь очень небольшое число моделирований, из которых необходимо извлечь большие экстремальные значения в хвостовой части эмпирического распределения. Обращаясь к этому вопросу, дополнительное распределение на большом временном интервале может быть вычислено с помощью дополнительных моделирований для бинов скоростей ветра, имеющих низкую вероятность. Полное время моделирования для каждого бина должно следовать естественному распределению скорости ветра. Но некоторое количество новых эмпирических распределений для больших интервалов времени может быть сформировано с помощью загруженных случайным образом данных из всех бинов. в которых имеется большое количество моделирований. После того, как будет сформировано некоторое количество распределений для больших интервалов времени, они могут быть усреднены с целью получения единственной объединенной функции распределения, которая мажет быть экстраполирована для получения более низкого уровня вероятности.

F.4 Критерии сходимости

F.4.1 Основные положения

В ситуации, когда вегроустановка испытывает воздействие экстремальных нагрузок, важность различных скоростей ветра изменяется в зависимости от нагрузки, которая была получена экстраполяцией. Некоторые нагрузки. обусловленные скоростями ветра, близкими к номинальной скорости ветра, преобладают, другие — преобладают в зоне отключения или для иных скоростей ветра.

Важным условием обеспечения стабильности данного метода является тщательное исследование проектировщиком преобладающих скоростей ветра с целью обеспечения выполнения достаточного количества моделирований.

Для каждой скорости ветра в интервале от {У^∂ - 2 м/с) до скорости отключения необходимо иметь не менее 15 моделирований, а для каждой скорости ветра, меньшей ($V_{/aferf}$- 2 м/с), необходимо получить шесть моделирований.

В качестве дополнения к требуемому минимальному числу моделирований для скоростей ветра в интервале от 2 м/с) до скорости отключения должен быть также применен критерий сходимости в соответствии с 7.6.2. Рекомендуемое число моделирований определяется вычислением доверительного интервала для суммарной функции эмпирического распределения. Число моделирований считается достаточным, если для каждого доверительного интервала с шириной 90 % на 84 %-ноы фрахгиле эмпирического распределения нагрузки глобального максимума менее, чем 15 % оценки 84 %-ного фрактиля.

Этот интервал может быть оценен с помощью методов загрузки [3]. методом биномиальной оценки [4]. или он может быть внутренне оценен как часть используемого метода экстраполяции.

Если экстремальные значения были получены иным методом {например, методом множественных максимумов). который, в среднем, приводит к получению m экстремумов для каждого моделирования на 10-минутном интервале времени, тогда 84 %-ный фрактиль необходимо заменить на *р.* где

$$p^* = (0.84)^{1/m}$$

Критерий сходимости должен быть применен индивидуально к каждому распределению нагрузки на коротком интервале времени, тогда как распределение на большом интервале времени должно быть получено, используя объединение данных по скоростям ветра до подгонки, или выполнением подгонки параметрического распределения к данным, полученным из каждой скорости ветра, до объединения.

В процессе, который включает обобщение, предшествующее подгонке, эмпирические распределения для нагрузок на большом интервале времени с последующим объединением всех бинов скорости ветра могут быть установлены с использованием аналогичного критерия сходимости, хоторый был предложен выше для распределений на коротких интервалах времени.

Для проверки сходимости на хвостовом участке эмпирического распределения, величина фрактиля. при котором налагается критерий сходимости, должна быть выше величины фрактиля, соответствующего любому конкретному «колену» {часто наблюдаемому явлению) в эмпирическом распределении на большом интервале времени.

F.4.2 Оценка фрактиля нагрузки

Желаемый фрактиль нагрузки L_{fi} . соответствующий условию непрввышения вероятности *р.* оценивается следующим образом.

Упорядочиваем все значения нагрузок по возрастанию так. что S, S S_2 S... S S_{m}. для *m* имеющихся значений результатов моделирования. Следует заметить, что *m* должно быть равно количеству моделировании, в случае применения глобального максимума. Для любого установленного *р* необходимо убедиться, что можно найти такое целое число/ {где 2 S г S гп), что

$$\frac{;'-1}{гл + 1} \quad \frac{l}{т + 1} \tag{F.14}$$

Должно быть обеспечено наличие достаточного количества экстремумов *m.* Для этого следует выполнить достаточное количество моделирований так. чтобы выше приведенное неравенство имело место и число г было найдено. Затем следует выполнить оценку фрактиля нагрузки вычислением линейным интерполированием следующим образом

$$S_p = S;\_, + lp(m + 1)-(/- 1)KS, -S,.,). где 2 S/S m. \tag{F. 15}$$

F.4.3 Доверительные границы

Доверительные границы оцениваются так. чтобы 90 %-ный доверительный интервал 84 %-ного фрактиля Sq ад соответствовал условию

$$\frac{Wros-Sos40.\&s}{Sow} <Q15 \tag{F16}$$

Интервал ^84:0.0б-^Л4Дд&) представляет желаемый 90 %-ный доверительный интервал.

F.4.4 Определение доверительных интервалов методом загрузки

При использовании для формирования доверительных интервалов процедуры загрузки, изложенной в [3] и {7]. вначале берется первичный набор данных на р глобальных максимумов (/л,, m_2, m_y $m_л$, т$.... m_p)

и повторно случайным образом выполняется леревыборка с заменой для формирования нового набора {го,, го$_2$, m_3, го$_4$. т$_5$.... го$_р$) или загрузка перевыборы такого же размера, что и первоначальный образец. Следует заметить, что загрузка перевыборы должна быть составлена из повторяющихся величин из первоначально* го образца, для каждой перевыборы данные выбираются случайным образом с замещением. Процедура по* вторяется до тех пор. пока не сформировано большое количество N_b загруженных перевыборок. Из каждого из этих наборов данных р отдельно может быть получек 84 %-ный фрактиль.

Из этих N_b оценок составляется набор Доверительные интервалы могут быть определены обычным методом упорядочением данных. Эти интервалы затем могут быть подставлены в числитель выражения (F.16). Оценка 84 %-ного фрактиля. полученного из первоначальных данных, представляет знаменатель выражения (F.16).

Для выполнения надежной оценки доверительных границ может быть достаточным выполнить не менее 25 загрузок перевыборок. Однако большее количество, близкое к 5000, приводит к более надежным оценкам.

F.4.5 Доверительные интервалы, основанные на биномиальном распределении

Определение доверительных интервалов методом биномиального распределения ([7]} в вычислительном отношении менее емко, чем вычисляемые методом загрузки. Эта экономия получается за счет табулирования параметров для вычисления биноминальных доаеригегъных интервалов, что дает результат для большинства обычных случаев.

Т а б л и ц а F.1 — Параметры, необходимые для установления доверительных интервалов методом биномиального распределения

Для 90 Ч-иогодоверительного интервала 84-ного процентиля нагрузки				
Число моделирований	*•	Г	А	В
15	9	14	0.50	0.32
16	10	15	0.27	0.19
17	11	16	0.1	0.03
18	11	16	0.87	0.96
19	12	17	0.58	0.90
20	13	18	0.35	0.83
21	14	19	0.16	0.76
22	14	20	1.00	0.69
23	15	21	0.69	0.60
24	16	22	0.45	0.50
25	17	23	0.25	0.39
26	18	24	0.08	0.26
27	18	25	0.85	0.12
28	19	25	0.58	0.98
29	20	26	0.36	0.91
30	21	27	0.18	0.83
31	22	28	0.02	0.75
32	22	29	0.75	0.66
33	23	30	0.51	0.56
34	24	31	0.31	0.44
35	25	32	0.13	0.32

Параметры таблицы F.1 используются в проектных расчетах, которые составлены с учетом обеспечения 90 %-ного доверительного интервала для 84-нота процентиля 10-минутного максимума. Проектное уравнение может быть записано следующим образом:

<*/“ **> * (*Г - **•) + “ *!•) “ “ V). (F.17J

Электротехническая библиотека Elec.ru

еде /*. к‘. А и В имеют значения, приведенные в таблице F.1 в зависимости от числа выполненных моделирований. а $x_г$ Ху., получены из упорядоченных смоделированных экстремумов. Результаты данного расчета должны быть введены в уравнение (F.16) для проверки условия сходимости, где

•5о Д4:О.И 4 *1 ~ **■ <р-1в)

F.5 Обратный метод по первому приближению

Альтернативой традиционным методам экстраполяции длительно действующих нагрузок является использование метода (Inverse first-order reliability method (IFORM)). В данном методе моделирование турбулентности и реакций нагрузок для условий НМТ. Для скоростей ветра в интервале $(V_{rg/ad}$ - 2 м/с) до скорости отключения должно быть выполнено не менее 15 моделирований. Затем должны быть установлены скорости (скорость) ветра, которые вызывают самые высокие нагрузки (нагрузку). Экстраполяция функций распределения на малых интервалах времени к уровню вероятности, согласованным с 50-летним периодом повторяемости нагрузки, дает нагрузку, возникающую один раз в 50 лет и в дальнейшем используется в расчетном случае ПСН 1.1.

Критерий сходимости для IFORM аналогичен применяемым в других методах экстраполяции, отличием является необходимость оценки доверительных интервалов для функций распределения нагрузки, возникающей от установленных важных скоростей ветра (часто только для единственной скорости).

Теория применения обратного метода по первому приближению (IFORM), который основан на преобразовании случайных физических переменных к стандартному нормальному распределению случайных переменных [8]. хорошо описан в примере [9] и может применяться для оценки распределений нагрузок вегроустзноеок на больших интервалах времени для условий НМТ.

Применение метода (FORM для экстремальных нагрузок ветроустановки состоит в выполнении следующих шагов:

а) выполнить 15 моделирований для бинов скорости ветра в интервале 2 м/с) до скорости отключения:

b) выделить бины. дающие наиболее высокие значения максимумов:

с) улучшить результаты последования вылолнешем других 15 моделирований для бинов. полученных в шаге Ь).

Повторно выделить доминирующие проектные значения скоростей (скорости) ветра И. которые вызывают самое большое нагружение.

Убедиться в достаточности количества выполненных моделирований для актуальных скоростей (скорости) ветра по соблюдению условия не превышения 15 % оценки 84 %-ного фрактиля доверительным интервалом шириной 90 % на 84 %-ном фрак тиле эмпирического распределения нагрузки глобальных максимумов.

d) выполнить анализ для коротких интервалов времени только для бинов (бина), установленного в шаге с). Требуемый фрактиль распределения нагрузки для этого бина выводится и зависит от значения уровня вероятности.

Используя функцию Рэлея CDF, вычисляют U, =

Вероятность превышения в течение 10 мин один раз за 50 пег p_m = 3.8-10-7 . что соотносится с р = 4.95.

Решить уравнение U_2 = jp2 -Uf $]^{1/2}$.

Вычислить фрактиль нагрузки Р$ = <t>(U_2)- таблица F.2.

Длительно действующая нагрузка является фрактилем P_s распределения скорости ветра в бине v’ на малом интервале времени. Для достижения подходящего фрактиля может потребоваться выполнение экстраполяции.

Таблица F.2 — Вероятность превышения кратковременными нагрузками как функция скорости ветра на высоте оси вегроколеса для различных классов ветроустановок при использовании метода IFORM

V*. Mfc	1 - P_s. класс 1	1 - P_s. класс Я	1 - P_s. класс III
5	5.77 Е-07	4.74 Е-07	4.16 Е-07
6	3.85 Е-07	3.72 Е-07	3.73 Е-07
7	3.87 Е-07	4.14 Е-07	4.55 Е-07
8	5.13 Е-07	5.93 Е-07	7.02 Е-07
9	8.50 Е-07	1.05 Е-08	1.33 Е-06
10	1.71 Е-06	2.25 Е-06	3.03 Е-06
11	4.14 Е-06	5.79 Е-06	8.24 Е-06
12	4.83 Е-07	4.14 Е-07	3.81 Е-07
13	3.71 Е-07	3.80 Е-07	4.07 Е-07
14	4.52 Е-07	5.22 Е-07	6.22 Е-07

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Окончание таблицы F.2

V^*, ы(с	1 - Pj. класс 1	1 - Pg. класс II	1 - Pg. класс III
15	7.66 E-07	9.73 E-07	1.27 E-06
16	1.71 E-06	2.37 E-06	3.37 E-06
17	4.93 E-06	7.41 E-06	1.14 E-05
18	1.81 E-05	2.95 E-05	4.93 E-05
19	4.32 E-07	3.85 E-07	3.71 E-07
20	3.81 E-07	4.14 E-07	4.73 E-07
21	5.64 E-07	7.02 E-07	9.10 E-07
22	1.23 E-06	1.71 E-06	2.48 E-06
23	3.72 E-06	5.79 E-06	9.31 E-06
24	1.55 E-05	2.67 E-05	4.76 E-05
25	8.80 E-05	1.68 E-04	3.34 E-04

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Приложение G
(справочное)

Расчет на усталость по правилу Майнера с экстраполяцией нагрузки

G.1 Расчет на усталость

Усталостное разрушение наступает в результате накопленного повреждения, вызванного воздействием переменных нагрузок. С этой точки зрения процесс усталости развивается в результате приращения повреждения, которое следует из каждого гистерезисного цикла нагружения, представленного на диаграмме напряжение-деформация для рассматриваемого сечения. Таким образом, на временной диаграмме нагружения каждого сечения каждому локальному максимуму соответствует локальный минимум, что составляет полный цжл (расчет цикла методом дождевого потока, см. Matsuishi и Endo. 1968, или Dowling. 1972). Каждый из этих циклов характеризуется парными экстремальными величинами (или. эквивалентно, амплитудой и средним значением, то есть разностью между двумя парными экстремальными значениями цикла и средним значением цикла). Если принять допущение, что процесс накопления повреждения подчиняется линейной зависимости и для каждого цикла носит независимый характер (Palmgren, 1924. и Miner. 1945), тогда полное повреждение. *D.* можно выразить[1]*:

$$o=X_{/} \frac{1}{N(S,)} \qquad (G.1)$$

где S, — диапазон нагрузки для ьго цикла:

N (.) — число циклов до разрушения при постоянной величина амплитуды нагружения с диапазоном, заданным аргументом (т. е. — кривая S-/V). Предполагается, что локальное напряжение в месте разрушения линейно связано с величиной нагрузки. Как правило, для расчета на усталость кривая S-/V. отобранная для проектного расчета, имеет заданную вероятность выживания (часто 95 %) и уровень достоверности (часто 95 %), которые учитываются при построении кривой на основе экспериментальных данных для конкретного материала. Таким образом, искомый минимальный уровень надежности может ожидаться, когда суммарное повреждение достигнет единицы.

В процессе эксплуатации ВЭУ испытывает большое количество переменных циклов нагружения, являющихся результатом изменений параметров ветра в широком диапазоне. Поэтому при проектировании следует рассчитать спектр нагружения. Наибольшие циклы для этого спектра должны быть получены на основе достоверного соответствия данным, полученным в процессе моделирования или испытаний, продолжительность которых значительно короче, чем срок службы ВЭУ. Для каждого режима ветра, можно принять, что процесс нагружения моделируется стационарным вероятностным процессом. Таким образом, ожидаемое повреждение при заданной скорости ветра *V* и определенного периода времени Г будет определено:

(G'2)

где n^SIV.T) — спектр кратковременного нагружения, определенный как функция плотности для определенного числа циклов. В этом случав, ожидаемое число циклов 8 любом интервале диапазона нагружения $<S_A,S_s)$ в течение периода времени 7 определяется:

$$/n_{S7}\text{-}(S|VT)dS. \quad S^*$$

Определение ожидаемого повреждения, накопленного в результате воздействия нормальных эксплуатационных нагрузок в течение всего срока эксплуатации, получается расширением временного интервала на полный срок эксплуатации и интегрированием по диапазону скоростей ветра, соответствующих режиму производства энергии. В результате получаем еьфажение:

$$E(pV\cdot {}_T y_{v)dv} \quad y \gg o \qquad (G.3)$$

где *p(V)* — функция плотности вероятности для скорости ветра на высоте оси ветроколеса для стандартных классов ВЭУ. описанных в 6.3.1.1.

С целью облегчения изложения изменением уровня нагрузки, соответствующей средней точке каждого цикла, пренебрегают. Данное ограничение будет устранено позднее, когда результат колебания уровня нагрузки в средней точке цикла будет учтен заменой на эквивалентный цикл нагружения.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Спектр нагружения для длительно действующих нагрузок имеет вид:

$$"ir(S)= {}^{Ufet'me} j\ nsr\{SlV.rJptVldV. \quad 4$$ <G.4)

тогда

$$£\{0\}=J_0 \frac{"tr(S)}{W(S)} dS.$$ (G.5)

На практике во многих случаях удобно разделить диапазоны величин нагрузок и скоростей ветра на отдельные подгруппы — выборки. В этом случае, ожидаемое повреждение может быть аппроксимировано:

$$m_{ь} \frac{п}{К} \quad /*$$ (G.6)

где л^ — ожидаемое число циклов нагружения е течение срока эксплуатации в ;'-й выборке скорости ветра *к-й* — выборке величины нагрузки:

Sy — величина, соответствующая центру *к-й* выборки величины нагрузки. Отсюда:

$$\frac{Lifetime}{"*} \quad A_K \quad J^{y} n_{ST}(SlV.T\&V)dSdV.$$ (G.7)

где AV, — ширина *J* — выборки скорости ветра и AS* — ширина *-й выборки нагрузки.

Учет данных результатов и требований 7.6.3 в отношении использования коэффициентов безопасности для нагрузок, дает выражение для расчета по предельной усталостной прочности:

$$\frac{J_0 l\ t\ (S)^}{JW(yS)}$$ {G8)

где $y = Yff_m$ Y„ — произведение всех трех главных парциальных коэффициентов безопасности для нагрузок, материалов и последствий отказа соответственно. В дискретной форме это выражение приобретает вид:

$$\frac{y- {}^{n}jk}{\$ Mrs^*)} \quad S1.$$ (G.9)

Для всех случаев, когда существенное повреждение происходит более чем в одном случае нагружения из таблицы 2. доли повреждения вычисляются для всех случаев нагружения, используя левую часть выражения (G.9). Сумма вычисленных долей должна быть меньше или равна единице.

Излагаемый метод до этого момента пренебрегал изменением величины среднего значения каждого цикла нагружения. Один из простых способов, позволяющих учесть это изменение, состоит в том, чтобы рассчитать эквивалентный цикл нагружения, имеющий фиксированную ветчину среднего значения цикла нагружения и вызывающий точно такое же повреждение. В этом случае, повреждение в результате восприятия эквивалентного цикла является точно таким же, как и е результате циклов с переменными средними значениями. Таким образом, разрушение произойдет (в среднем) для того же самого числа циклов с постоянной амплитудой эквивалентного циклического диапазона как и для циклов в любом данном циклическом диапазоне и с любой соответствующей величиной среднего значения. Если обозначить семью кривых *S-N* для переменных средних значений — *N (S. M).* то уравнение эквивалентного повреждения

$$N(S_{<K)}.M_0> = W(S.M)$$ «3.10)

решается для $S_{4?}$ при заданных величинах S, *М* и выбранной постоянной ветчине среднего уровня цикла M_0.

В математических терминах это может быть представлено как:

$$S_{eo} = W^{1}(N(S.M).M_0).$$ (G.11)

где обратная функция относится к первой переменной функции. *N.* данной ео второй переменной. Как правило, выбирается так. чтобы дать величину *R* (отношение максимальной нагрузки к минимальной нагрузке) для эквивалентных циклов нагружения, которые находятся в середине диапазонаееличш, взятых непосредственно из данных нагружения. Часто приемлемой величиной является величина средней нагрузки, учитывающей все скорости

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

ветра из рабочего диапазона. Для большинства случаев, когда кривые S-W определены аналитически {например, степенные или экспоненциальные зависимости), диапазон эквивалентного циклического нагружения легко вычисляется. Если диапазон становится большим, то необходимо проявить внимательность. В зависимости от величины среднего значения цикла максимальная или минимальная величина нагрузки для данного цикла может приблизиться к величине статической прочности. В этом случае простая высокочастотная кривая S-A/ может стать неприемлемой. Кроме того, для величин с большими диапазонами местные напряжения или деформация могут перейти от доминирующего состояния сжатие-сжатие или растяжение-растяжение к состоянию растяжение-сжатие, которое может иметь иное аналитическое представление кривой *S-N.* Важно использовать правильную зависимость S-Мдля определения диапазона эквивалентного цикла. Вначале для данной временной диаграммы определяются циклы по методу дождевого потока. Затем вычисляется ряд эквивалентных циклов с постоянным средним значением цикла (на основе лравигъно выбранных зависимостей *S-N* для каждого вида циклов нагружения). Дальнейшая оценка распределений этих эквивалентных циклов дает новый эквивалентный спектр кратковременного нагружения. Полученный новый спектр используется для подсчета числа циклов, используемых для определения долей повреждения для каждой выборки нагружения и скорости ветра. Главное преимущество данного метода состоит в том. что оценка эквивалентного спектра является статистически более ясной, чем прослеживание уровней средних значений как независимой переменной. Получаемое преимущество обусловлено тем. что середины выборок в этом методе отдельно не отслеживаются, и большинство циклов нагружения рассчитывается на основе типичных временных рядов измеренных нагрузок для каждой выборки нагрузки и скорости ветра.

Дополнительным практическим результатом, возникающим при определении кратковременного спектра нагружения. является получение большого количества маленьких циклов, определенных методом дождевого потока. Эти маленькие циклы могут часто встречаться в соседних по времени точках, поэтому между ними может быть установлена связь. Маленькие циклы могут также искажать форму аналитической аппроксимации хвоста распределения. Поэтому при аппроксимации хвоста краткосрочного распределения рекомендуется рассматривать только циклы выше пороговой величины. Пороговая величина с наименьшим 95-ным процентилем обычно дает хорошие практические результаты. Понижение пороговой величины может быть оправдано, если маленькие циклы были исключены или. если увеличенное число данных, испогъзуемых для отображения процесса, как ожидают, приведет к существенной дополнительной статистической надежности.

Для практического применения при проектировании ВЭУ необходимо определить эквивалентный спектр кратковременного нагружения от смоделированных динамических данных, а затем вычислить накопленное в период эксплуатации повреждение. Один из методов выполнения этой задачи должен соответствовать следующему порядку.

• выбрать базовый средний уровень как среднюю величину уровня нагружения, учитывающую все скорости ветра;

• из полученных моделированием данных для определенной скорости ветра извлечь последовательность локальных максимумов и минимумов. Последовательности локальных максимумов и минимумов из повторяющихся временных рядов для тех же самых режимов ветра рекомендуется объединить в один ряд:

• определить величину диапазона и среднее значение цикла для каждого смоделированного цикла нагружения методом дождевого потока:

• определить эквивалентный диапазон для каждого цикла нагружения относительно выбранного базового уровня среднего значения цикла:

• определить аналитическое выражение, соответствующее вероятностному распределению эквивалентных циклов для случая краткосрочного нагружения $P_{S_7}(S|y, 7)$ для данных выше назначенного порога. Описание одного из методов подбора аналитического выражения для распределения мажет быть найдено в работах Мориарти и Холлея. 2003. Для выбранного типа распределения должна быть проверена степень точности соответствия данным и достаточность набора данных для выполнения надежной оценки поведения хвоста распределения по сравнению с имеющимися данными:

• определить ожидаемое число циклов в каждой выборке в течение срока службы, используя данные, когда выборка нагружения ниже порогового значения, и подобранное аналитическое распределение для нагружения, когда выборка нагружения выше порогового значения, в соответствии с формулой:

$$n_{jk} = \left(\frac{Lifetime}{T}\right) P_j \left\{ M_j \left(F\left(S_k + \frac{\Delta S_k}{2} \middle| V_j, T\right)^{m_k} - F\left(S_k - \frac{\Delta S_k}{2} \middle| V_j, T\right) \right) \right. \quad \text{(G.12)}$$

если S* ниже /-го порога

если S* выше /-го порога

где — число смоделированных циклов усталости, насчитываемых в данных для у-й выборки скорости ветра и А-й выборки нагружения ниже назначенного порога;

/И — число усталостных циклов, подсчитанных при моделировании, выше порога, и

$$P_j = e^{-\pi\left(\frac{V_j - \Delta V_j/2}{2V_{ave}}\right)^2} - e^{-\pi\left(\frac{V_j + \Delta V_j/2}{2V_{ave}}\right)}$$

показывает часть времени, которую скорость ветра находится в выборке /. в случав принятия распределения скорости ветра по Рэлею:

• просуммировать долевые повреждения, используя левую часть уравнения (G.9);

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

• просуммировать полное повреждение за весь срок службы для всех случаев усталостного нагружения.

При использовании данного метода следует проверить:

- достаточна m величина выбранного разрешения для выборок скорости ветра и диапазона нагружения для обеспечения желаемой численной точности, и

- достаточно ли большие величины диапазона нагружения используются, чтобы достоверно представить хвост распределения нагрузки на длинном интервале времени.

Первая проблема может быть исследована аппроксимированием ошибки как половины разности между результатами, вычисленными с двумя различными разрешениями выборки, пропускающими данные от каждой другой скорости ветра или диапазона нагружения. В качестве альтернативы должно быть вычислено суммарное повреждение, используя оконечные точки величин выборок, вместо средних величин для получения граничного результата. Вторая проблема может быть исследована, если прогрессивно увеличивать величину наибольшего диапазона выборки нагружения до обнаружения незначигвгъного прироста накопленного в течение срока службы повреждения.

Следует отметить, что поскольку отношение —— является большим числом, то наибольшая необходимая выборка нагружения может быть значительно больше, чем наибольший цикл, полученный при моделировании данных. Такой результат получается потому, что полная смоделированная временная диаграмма нагружения намного меньше, чем срок службы ВЭУ. и необходимо выполнить статистическую экстраполяцию для того, чтобы достоверно определить повреждение, соответствующее хвостовой части распределения для длительного нагружения.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Приложение Н
(справочное)

Одновременно действующие нагрузки

Н.1 Основные положения

Подробный структурный анализ конструктивных элементов ветровой установки обычно использует метод конечных элементов или иную подходящую расчетную модель для определения действующих местных напряжений и деформаций, возникающих в результате внешних нагрузок, приложенных к элементам конструкции. Часто такой метод устанавливает подходящее внутреннее сечение, в котором действуют приложенные нагрузки, например: сечение опорного подшипника механизма поворота гондолы при определении нагружения башни в верхней части.

В данном случае граничные условия нагружения определяют шесть силовых факторов: три усилия F_x. F_y, и F_t и три момента M_x. M_y и $M_г$.

Для удобства здесь принято, что оси х и у находятся в плоскости действия нагрузок, а ось *г* — перпендикулярна данной плоскости. Для описания случаев экстремального нагружения используется матрица нагрузок, которая часто представляется в виде, приведенном в таблице Н.1.

В данной таблице каждый столбец представляет величину фактора нагрузки, которая возрастает вверх.

Каждый ряд представляет величины одновременно действующих нагрузок (т. е. все величины, возникающие 8 одно и тоже время), а заштрихованные клеточки показывают те компоненты нагрузки, которые имеют максимагънов и минимальное значение, как показано слева.

Данные максимальные и минимальные нагрузки закрывают весь диапазон значений для конкретного силового фактора.

Затем применяется выбранная структурная модель, используя каждый из рядов, для определения результирующего местного напряжения или деформации, которые надлежит сравнить с подходящими критериями разрушения.

Т а б л и ц а Н.1 — Матрица экстремального нагружения

	F*	Fy		M_x	M_y		F*	*F	Mr	%
Max	m									
Min	m									
Max										
Min										
Max										
Min										
Max										
Min										
Max										
Min										
Max										
Min										
Max										
Max										

Если конструкционная жесткость и прочность под воздействием нагрузок, лежащих в плоскости сечения, схожи для разнонаправленных нагрузок, наиболее тяжелый случай нагружения могут дать компоненты нагрузки, действующие вдоль осей х и у. и имеющие большие, но не самые большие значения. Таким образом величина суммарного вектора нагрузки, лежащего в плоскости сечения, представлена 8 добавочных столбцах в правой части и в нижних рядах таблицы.

Данные действующие в плоскости нагружения результирующие силовые факторы определяются следующим образом:

$$^{f}r = \wedge^{F}x \quad *^{F}y \text{ и} \quad . \qquad (Н.1)$$

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

У^ол между направлениями данных силовых факторе» определяется соответственно:

$$e_F = arctgJFJ\ F_y)\ и\ e_M = arclg(M_x|\ M_y). \quad (H.2)$$

Значения составляющих нагрузки, представленные в таблице, должны быть определены на основе последующего анализа временных серий для шести компонентов нагрузки, определенных как результат реализации в полном объеме динамического моделирования ветровой установки.

В атом анализе временные серии исследуются на максимальные и минимальные значения каждого силового фактора, а также выявляются максимальные значения реэугътирующих нагрузок.

Величины нагрузок, действующие одновременно и связанные с каждой соответствующей точкой времени, затем вносятся в соответствующие ряды таблицы.

Каждый из случаев нагружения, приведенный в разделе 7. анализируется рассмотренным образом. Затем самые значительные экстремальные нагрузки в каждом ряду для различных случаев нагружения используются при определении полного спектра нагрузки соответствующего элемента ветровой установки.

Ниже приведены два используемых подхода. Следует заметить, что необходимо обеспечить аккуратность для получения консервативных одновременно действующих нагрузок.

Н.2 Масштабирование

Данный подход включает следующие шаги:

- для каждого поперечного сечения и силового фактора один бин рассматриваемого случая нагружения должен содержать максимальную удельную нагрузку;

• временные серии, извлеченные из данного бина. должны иметь отклонение не более ± 5 % максимума выбранной удельной нагрузки;

• максимальные значения этих временных серий приводятся к удельным значениям нагрузки. Полученный масштабный фактор затем применяется для выбранных максимуме» временных серий ко всем одновременно действующим факторам нагрузки;

• для каждого силового фактора должна быть получена одна серия данных для каждого случая нагружения, чтобы выполнить расчеты по условиям экстремального нагружения:

• для получения минимальных значений процедура выполняется аналогично.

Н.3 Усреднение

Данный подход включает следующие шаги:

• для случаев нагружения, имеющих более одной реализации, полная положительная нагрузка выделяется как среднее значение максимумов каждой реализации:

• одновременно действующие нагрузки вычисляются как средние значения полных, одновременно действующих величин каждой реализации. Знак, одновременно действующих нагрузок, определяется в соответствии со знаками одновременно действующих нагрузок в рассматриваемой реализации с наибольшей нагрузкой:

- предельная отрицательная нагрузка вычисляется как среднее значение минимумов каждой реализации. Одновременно действующие отрицательные нагрузки вычисляются аналогично расчетам, применяемым для положительных нагрузок:

• в качестве предельной полной нагрузки берется максимальная из полвдх величин средних значений максимальных и средних значений минимальных нагрузок, описанных выше, с соответствующими одновременными величинами.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации, использованным в настоящем стандарте в качестве нормативных ссылок

Т а б л и ц а ДА.1

Обозначение ссылочного нацио-нальною. межгосударственного стандарта	Сте1>емь соотмл* стен*	Обозначение и наименование ссылочною международною стандарта
ГОСТ 27.301—95	NEQ	ИСО 2394:1998 «Надежность в технике. Основные по-ложения»
ГОСТ 18854—94 (ИСО 76—87)	IDT	ИСО 76:1987 «Подшипники качения. Статическая гру-зоподъемность»
ГОСТ 18855—94 (ИСО 281—89)	ЮТ	ИСО 281:1990 «Подшипники качения. Динамическая расчетная грузоподъемность и расчетный ресурс»
ГОСТ 12.1.019—79	NEQ	МЭК 60204-1:1997 «Безопасность оборудования — Изделия электротехнические — Часть 1: Обшив тре-бования безопасности»
ГОСТ 12.2.007.0—75	NEQ	МЭК 60204-1:1997 «Безопасность оборудования — Изделия электротехнические — Часть 1: Обшив тре-бования безопасности»
ГОСТ 12.2.003—91	NEQ	МЭК 60204-11:2000 «Безопасность оборудования — Изделия электротехнические — Часть 11: Требова-ния для высоковольтного оборудования напряжением свыше 1000 В переменного тока или 1500 В постоян-ного тока до 36 кВ»
ГОСТ Р 50571 (МЭК 364-3—93)	NEQ	МЭК 60364 (все части) «Электроустановки зданий»
ГОСТ Р 51991—2002	NEQ	МЭК 60721-2-1:1982 «Классификация условий окру-жающей среды — Часть 2: Условия внешней природ-ной окружающей среды. Температура и влажность»
ГОСТ Р 51317.6.1—99 (МЭК 61000-6-1—97)	ЮТ	МЭК 61000-6-1:1997 «Совместимость технических средств электромагнитная (ЭМС) — Часть 6: Группа стандартов. Раздел 1: Устойчивость к электромагнит-ным помехам технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зо-нах с малым энергопотреблением»
ГОСТ Р 51317.6.5—2006 (МЭК 61000-6-5—2001)	MOD	МЭК 61000-6-2:1999 «Совместимость технических средств электромагнитная (ЭМС) — Часть 6: Группа стандартов. Раздел 2: Устойчивость к электромагнит-ным помехам технических средств»
ГОСТ Р 51317.6.3—99[1] (МЭК 61000-6-3—96)	ЮТ	МЭК 61000-6-4:1997 «Совместимость технических средств электромагнитная (ЭМС) — Часть 6: Группа стандартов. Раздел 4: Помехоэмиссия от технических средств. Нормы»
ГОСТ 12.1.030—81	NEQ	МЭК 61024-1:1990 «Защита конструкций от молний — Часть 1: Общие принципы»
ГОСТ Р 50571.26—2002 (МЭК 60364-5-534—97)	NEQ	МЭК 61312-1:1995 «Защита от грозовых электромаг-нитных импульсов — Часть 1: Общие принципы»

[1]> Отменен. Действует ГОСТ30804.3-2013(1ЕС 610006-3:2006).

Электротехническая библиотека Elec.ru

Окончание таблицы ДА. 1

Обозначение ссылочною национального. межгосударственного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ст печного международного стандарта
ГОСТ 13109—97	NEO	МЭК 61400-21:2001 «Установки электрические ветровые — Часть 21: Измерение и оценка качества электроэнергии установок для подключения к сети»
ГОСТ Р 51991—2002	NEO	МЭК 61400-24:2002 «Установки электрические ветровые — Часть 24: Молниеззщита»
ГОСТ Р 51991—2002	NEQ	ИСО 2533:1975 «Стандартные параметры атмосферы»
ГОСТ 21354—87 (СТ СЭВ 5744—86)	NEQ	ИСО 6336 (все части) «Расчет нагрузочной способности прямозубых и косозубых зубчатых колес»
ГОСТ Р ИСО 9004—2010	NEQ	ИСО 9001:2000 «Системы менеджмента качества. Руководящие указания по улучшению качества»
ГОСТ Р ИСО 9001—2015	NEQ	ИСО 9001:2000 «Системы менеджмента качества. Требования»

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:
- ЮТ — идентичные стандарты:
- MOD — модифицированные стандарты:
- NEQ — неэквивалентные стандарты.

Электротехническая библиотека Elec.ru

Библиография

[1] СНиП 11-7—81 Строительство в сейсмических районах
[2] СНиП 2.01.07—85 Нагрузки и воздействия
[3] СП 11-104—97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства
[4] ВСН 34.2.88 Инженерно-теологические изыскания для гидротехнических сооружений
[5] ВСН 34.3.89 Инженерно-гидрометеорологические изыскания для гидроэнергетического строительства
[6] ВСН 34.72.060—91 Создание геодезической разбмвочной основы для строительства гидроэнергетических объектов
[7] Правила обеспечения работников специальной одеждой, специальной обувью и другими средствами защиты [утверждены постановлением Минтруда России от 18 декабря 1998 г. N9 51 (в редакции постановления Минтруда России от 03.02.04 г. № 7)]
[8] СНиЛ 2.09.03—85 Сооружения промышленных предприятий
[9] Федеральный закон от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»
[10] Федеральный закон от 10 января 2002 г. N9 7-ФЗ «Об охране окружающей природной среды»

Электротехническая библиотека Elec.ru

Электротехническая библиотека Elec.ru

УДК 621.311.24/534.6:006.354 ОКС 27.180

Ключевые слова: ветроэнергетические установки; технические требования: методология проектирования; классы безопасности; качество; маркировка: факторы окружающей среды: проектирование конструкции; механическая, электрическая системы: система управления и защиты

Электротехническая библиотека Elec.ru

Технический редактор *В.Ю* Фотиееа
Корректор *М.В. Бучная*
Компьютерная версгха *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 13.01.2016. Подписано в печать 29.01.2016. Формат 60*84%. Гарнитура Ариал.
Уел. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 9.30. Тираж 32 экэ. Зак. 276.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИМФОРМ». 123995 Москва. Гранатный пер.. 4.
wwwgoslmfo.ru nfo@gosUnfo.ru