

ГОСТ Р

НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
СТАНДАРТ  
РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

МЭК 61400-1

**УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВЕТРОВЫЕ.  
ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ  
ISO 61400-1 Wind turbines – Part 1: Design requirements (MOD)**

Проект, 1-я редакция

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

## НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

### УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВЕТРОВЫЕ.

### ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ

### Wind Turbines. Design requirements

### ГОСТ Р

**Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения**

**Дата введения-\_\_\_\_\_**

#### Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации – ГОСТ Р 1.0-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения».

Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту МЭК 61400-1 «Установки электрические ветровые. Требования к конструкции» (IEC 61400-1:2005 Wind Turbines – Part 1: Design requirements), при этом:

- дополнительные положения, учитывающие потребности национальной экономики Российской Федерации и/или особенности российской стандартизации приведены в пунктах (подпунктах):
  - п. 6.1.1 Климатическое исполнение ВЭУ;
  - п.13.4.1 дополнен «действия персонала при пожаре; сведения по утилизации изделия и его составных частей»;
  - п. 14 Охрана окружающей среды ;
  - п. 15 Требования по утилизации (ликвидации) ВЭУ -, которые выделены курсивом, а информация с объяснением причин включения этих положений приведена в указанных пунктах (подпунктах или после соответствующих абзацев и статей);

- дополнительные слова (фразы, показатели и их значения), учитывающие потребности национальной экономики Российской Федерации и/или особенности российской стандартизации, выделены курсивом;
- в него не включены сокращения, приведенные в п. 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 п. 10.10 данного стандарта, так как отсутствует национальный эквивалент ссылочного стандарта.

### Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН

ЗАО «НПЦ малой энергетики»

на основе собственного

аутентичного перевода стандарта

2 ВНЕСЕН

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ

## ВВЕДЕНИЕ

Данная часть МЭК 61400 устанавливает необходимый минимальный набор требований, необходимых при проектировании ВЭУ. Данный документ не предназначен для использования в качестве исчерпывающих технических требований на проектирование или руководства по проектированию.

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

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

*Примечание. Из модифицированного текста исключена фраза: «Стандарт, затрагивающий требования к ВЭУ морского исполнения, в настоящее время находится на стадии рассмотрения»*

## 1 Область применения

Данный стандарт является модифицированным нормативным документом по отношению к МЭК 61400-1, входящим в группу стандартов МЭК 61400. Он предназначен для применения субъектами хозяйственной деятельности на стадиях:

- проектирования;
- реконструкции;
- подтверждения соответствия;
- реализации (поставки, продажи);
- использования (эксплуатации), хранения;
- при выполнении работ и оказании услуг;
- при разработке технической документации (конструкторской, технологической, проектной), в том числе технических условий.

*Примечание.* Дополнение оригинального текста выполнено в соответствии с техническим заданием заказчика.

Данный стандарт устанавливает основные требования к конструкции ВЭУ, закладываемые на стадии проектирования, реализация которых должна обеспечить ее структурную целостность в процессе эксплуатации. Назначение данного стандарта состоит в обеспечении гарантированного уровня надежности при всех возможных рисках, возникающих в течение жизненного цикла ВЭУ.

Данный стандарт затрагивает все подсистемы ВЭУ такие, как устройства управления и защиты, электрическая система, механические системы и несущие конструкции.

Данный стандарт распространяется на ВЭУ любых размеров.

*Примечание.* Из модифицированного текста исключена фраза « Для малых ВЭУ может применяться МЭК 61400-2», так как названный документ не является актуальным для данного стандарта.

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

## 2 Нормативные ссылки

Перечисленные ниже нормативные документы обязательны при использовании настоящего стандарта. Для нормативных ссылок, имеющих в обозначении дату, должно использоваться указанное издание. Для документов, не имеющих в обозначении даты, должна использоваться самая последняя версия издания (включая входящие приложения).

Федеральный закон "Об охране окружающей среды" № 7-ФЗ

Федеральный закон "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" № 52-ФЗ

ГОСТ 2.102-68 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов

ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление.

Зануление

ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.2.007.0—75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.3.009-76 ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности

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—79 Продукция, отправляемая в районы Крайнего Севера и труднодоступные районы. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение

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

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

ГОСТ 21130-75 Изделия электротехнические. Зажимы заземляющие и знаки заземления. Конструкции 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

ГОСТ 30331.2-95 (МЭК 364-3-93)/ГОСТ Р 50571.2-94 (МЭК 364-3-93)  
Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики

ГОСТ Р 12.4.026-2001 ССБТ. Цвета сигнальные, знаки безопасности и  
разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические  
требования и характеристики. Методы испытаний

ГОСТ Р 50571.10—96 (МЭК 364-5-54—80) Электроустановки зданий. Часть  
5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и  
защитные проводники

ГОСТ Р 50571.16-99 (МЭК 60364-6-61-86) Электроустановки зданий. Часть  
6. Испытания. Глава 61. Приемо-сдаточные испытания

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—99 (МЭК 61000-6-3—96) Совместимость технических  
средств электромагнитная. Помехоэмиссия 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 Р ИСО 9004:2001 "Системы менеджмента качества. Руководящие указания  
по улучшению качества" (ИСО 9001:2000, NEQ)

ГОСТ Р ИСО 9001:2001 "Системы менеджмента качества. Требования"(ИСО  
9001:2000, NEQ)

При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования:

- на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет;
- по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года;
- и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году.

Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяют в части, не затрагивающей эту ссылку.

### 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями.

#### 3.1

##### **среднее годовое (annual average)**

среднее значение ряда измеренных данных, достаточного объема и продолжительности, служащее для оценки ожидаемой величины рассматриваемого параметра. Временной интервал усреднения должен представлять собой целое число лет, чтобы учесть нестационарные эффекты, типа сезонности

#### 3.2

##### **средняя годовая скорость ветра (annual average wind speed)**

$V_{ave}$

скорость ветра, усредненная согласно определению среднегодового значения

*Примечание. Средняя скорость ветра за год в конкретной местности, определяемая для заданной высоты над уровнем земной поверхности (ГОСТ 51237-98)*

#### 3.3

##### **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

#### 3.4

##### **блокировка (ВЭУ) (blocking (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

#### **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.

### 3.6

#### **характеристическое значение (characteristic value)**

величина, имеющая установленную вероятность того, чтобы не быть достигнутой (то есть вероятность превышения меньше или равна установленному значению)

### 3.7

#### **сложный ландшафт (complex terrain)**

окружающий ландшафт, который имеет существенные изменения рельефа и препятствия на поверхности земли, которые могут вызвать искажение течения воздушного потока

### 3.8

#### **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

### 3.9

#### **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 потока ветра без турбулентности

Примечание. Минимальная скорость ветра, при которой обеспечивается вращение ВА с номинальной частотой вращения с нулевой производительностью (холостой ход) (ГОСТ 51237-98)

### 3.10

#### **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 потока ветра без турбулентности

Примечание. Скорость ветра, при которой расчетная прочность ВА позволяет производить

электроэнергию без повреждений (ГОСТ 51237-98)

3.11

**проектные пределы (design limits)**

максимальные или минимальные значения, используемые в проекте

3.12

**скрытый отказ (dormant failure)**

отказ элемента или системы, который остается невыявленным в течение нормальной эксплуатации

3.13

**по ветру (downwind)**

в направлении главного вектора скорости ветра

3.14

**электрическая силовая сеть (electrical power network)**

отдельные установки, подстанции, линии или кабели, предназначенные для передачи и распределения электроэнергии

Примечание Границы различных частей этой сети определяются в соответствии с выбранными критериями, например, географическим расположением, правами собственности, уровнями напряжения, и т.д.

3.15

**аварийный останов (ВЭУ) (emergency shutdown (wind turbines))**

быстрая остановка ВЭУ, последовавшая в результате включения функций защиты или ручного вмешательства

3.16

**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

3.17

**внешние условия (ВЭУ) (external conditions (wind turbines))**

факторы, оказывающие воздействия на процесс эксплуатации ВЭУ, включая экологические условия (температура, визуальные помехи, гололед, и т.д.) и условия, накладываемые сетью подключения

3.18

**экстремальная скорость ветра (extreme wind speed)**

величина самой высокой скорости ветра, усредненной за период  $t$  с, с ежегодной вероятностью превышения  $1/N$  ("период повторяемости" -  $N$  лет)

Примечание. В данном стандарте периоды повторяемости  $N = 50$  лет и  $N = 1$ -год и интервалы времени, для которых определяется среднее значение, составляют  $t = 3$  с и  $t = 10$  минут. Часто используется широко известный, но менее точный термин – «скорость выживания». В данном стандарте при проектировании ВЭУ используются экстремальные скорости ветра для определения расчетной нагрузки.

### 3.19

#### **отказоустойчивость (fail-safe)**

свойство изделия, обеспечиваемое при проектировании и заключающееся в способности сохранять нормальное функционирование при наличии отказов его элементов.

### 3.20

#### **порыв (gust)**

внезапное изменение скорости ветра

Примечание. Порыв ветра может быть охарактеризован временем нарастания, амплитудой и продолжительностью.

### 3.21

#### **горизонтально-осевая ВЭУ (horizontal axis wind turbine)**

ВЭУ, у которой ось ветроколеса расположена параллельно или почти параллельно вектору скорости ветра.

### 3.22

#### **ступица (втулка) (ВЭУ) (hub (wind turbines))**

устройство, с помощью которого осуществляется фиксация лопастей ветроколеса или их сборочных единиц, на валу ветроколеса

### 3.23

#### **высота оси (ВЭУ) (hub height (wind turbines))**

##### **Zhub**

высота центра ометаемой площади ветроколеса ВЭУ над поверхностью земли (см. п.3.51, ометаемая площадь)

### 3.24

#### **простой (ВЭУ) (idling (wind turbines))**

состояние ВЭУ, при котором она медленно вращается, не производя электроэнергии

### 3.25

#### **инерциальный поддиапазон (inertial sub-range)**

интервал частоты спектра турбулентности, в которых вихревое движение (после достижения изотропии) претерпевает последовательное разрушение с незначительным рассеянием энергии

Примечание. При типовой скорости ветра 10 м/с, инерциальный поддиапазон имеет размеры

(примерно) от 0, 2 Гц до 1 кГц.

### 3.26

#### **предельное состояние (limit state)**

состояние конструкции и нагрузок, действующих на нее, превышение которых приводит к тому, что конструкция больше не удовлетворяет проектным требованиям.

[ГОСТ 27.001-95, измененный]

Примечание. Назначение проектных расчетов (то есть, проектных требований по условиям предельного состояния) состоит в том, чтобы сохранить вероятность достигнутого предельного состояния ниже определенной величины, заранее назначенной для рассматриваемого вида конструкции (см. ГОСТ 27.001-95).

### 3.27

#### **логарифмический закон сдвига ветра (logarithmic wind shear law)**

См. п.3.62

### 3.28

#### **средняя скорость ветра (mean wind speed)**

среднестатистическое мгновенных значений скорости ветра, осредненных на заданном периоде времени, продолжительность которого может меняться от нескольких секунд до многих лет

### 3.29

#### **гондола (nacelle)**

помещение, расположенное на верху башни горизонтально-осевой ВЭУ, в котором находится трансмиссия и другие элементы

*Примечание. Составная часть ветроагрегата с горизонтально-осевым ветродвигателем, в котором размещены элементы опор ВК, СПМ, СГЭЭ, система ориентации ВК на направление ветра и другие элементы ветродвигателя (ГОСТ 51237-98)*

### 3.30

#### **точка подключения (ВЭУ) (network connection point (wind turbines))**

кабельные муфты отдельной ВЭУ, а для ветроэлектростанции – точки, которыми осуществляется соединение с шинами местной системы сбора мощности

### 3.31

#### **потеря сети (network loss)**

отсутствие соединения с сетью в течение периода, превышающего любое время задержки срабатывания в системе управления ВЭУ

### 3.32

#### **нормальное выключение (ВЭУ) (normal shutdown (wind turbines))**

выключение, при котором все его этапы находятся под контролем системы управления

### 3.33

**эксплуатационные пределы (operating limits)**

набор условий, определяемых проектировщиком ВЭУ, которые регулируют работу системы управления и защиты

3.34

**запаркованная ВЭУ (parked wind turbine)**

состояние ВЭУ, при котором она либо стоит неподвижно, либо совершает холостой ход (зависит от конструкции ВЭУ)

3.35

**система сбора мощности (ВЭУ) (power collection system (wind turbines))**

электрическая система, которая предназначена для приема выработанной электроэнергии от одной или более ВЭУ. Она включает все электрическое оборудование, расположенное между клеммами ВЭУ и точкой подключения к сети

3.36

**степенной закон для сдвига ветра (power law for wind shear)**

См. п. 3.62

3.37

**производимая мощность (power output)**

мощность определенного вида, выработанная устройством для определенной цели  
Примечание. Для ВЭУ это электрическая вырабатываемая мощность

3.38

**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

3.39

**номинальная мощность (rated power)**

величина мощности, объявленная производителем и соответствующая указанным режимам эксплуатации устройства или оборудования

Примечание. (Для ВЭУ) Величина максимальной непрерывной электрической мощности, выдаваемой в режиме нормальной эксплуатации и при нормальных внешних условиях, которая была задана в процессе проектирования ВЭУ

3.40

**номинальная скорость ветра (rated wind speed)**

$V_r$

минимальная скорость ветра на высоте оси ветроколеса, при которой достигается номинальная мощность ВЭУ в случае устойчивого набегающего воздушного потока без турбулентности

3.41

**распределения Рэля (Rayleigh distribution)**

$P_R$

функция распределения вероятности, см. п.3.63

3.42

**базовая скорость ветра (reference wind speed)**

$V_{ref}$

основная характеристика скорости ветра, используемая для классификации ВЭУ. Остальные, влияющие на конструкцию климатические параметры, выводятся из базовой скорости и прочих основных параметров, определяемых классом принадлежности ВЭУ (см. п. 6),

Примечание. ВЭУ, принадлежащая к классу ВЭУ с базовой скоростью  $V_{ref}$ , 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  $V_{ref}$ .

3.43

**скорость ветра в выбранной точке вращающегося ветроколеса (rotationally sampled wind velocity)**

скорость ветра, которая воздействует на 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.

3.44

**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 (ГОСТ 51237-98)

3.45

**шероховатость поверхности (roughness length)**

$Z_0$

экстраполированная высота, на которой средняя скорость ветра становится равной нулю в предположении, что профиль изменения ветра по высоте подчиняется логарифмическому закону

3.46

**плановое обслуживание (scheduled maintenance)**

профилактическое техническое обслуживание, выполняемое в соответствии с установленным календарным графиком

3.47

**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

3.48

**простой (standstill)**

состояние ВЭУ, при котором она остановлена

3.49

**опорная (несущая) конструкция (ВЭУ) (support structure (wind turbines))**

часть ВЭУ, включающая башню и фундамент

3.50

**скорость ветра выживания (survival wind speed)**

популярное название максимальной скорости ветра, заложенной при проектировании, которую конструкция должна выдержать.

Примечание. В данном стандарте, это выражение не используется. Требования к конструкции вместо этого используют понятие экстремальной скорости ветра (см. п. 3.18)

3.51

**ометаемая площадь (swept area)**

площадь проекции поверхности, которую описывает ветроколесо за один полный оборот, на плоскость, перпендикулярную направлению ветрового потока

3.52

**интенсивность турбулентности (turbulence intensity)**

*I*

отношение среднеквадратичного отклонения скорости ветра к средней скорости ветра, определенной из того же самого набора выборок измеренных данных скорости ветра, которое берется за указанный период времени

3.53

**масштабный параметр турбулентности (turbulence scale parameter)**

$\Lambda_1$

длина волны, при которой безразмерная, плотность продольной спектральной мощности равна 0,05

Примечание. Длина волны, таким образом, определена, как  $\Lambda_1 = V_{hub} / f_0$ , где  $f_0 S_1(f_0) / \sigma_1^2 = 0,05$

3.54

**среднеквадратичное отклонение турбулентности (turbulence standard deviation)**

$\sigma_1$

среднеквадратичное отклонение продольной составляющей турбулентной скорости ветра на высоте оси ветроколеса

3.55

**состояние предельной прочности (ultimate limit state)**

предельное состояние, которое, как правило, зависит от наибольшей несущей способности

[ГОСТ 27.001-95, измененный]

3.56

**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

3.57

**против ветра (upwind)**

в направлении, противоположном направлению главного вектора скорости ветра

3.58

**вертикально-осевая ВЭУ (vertical axis wind turbine)**

ВЭУ, у которой ось ветроколеса вертикальна

*Примечание. ВЭУ, у которой ось вращения расположена перпендикулярно вектору скорости ветра (ГОСТ 51237-98)*

3.59

**Распределение Вейбулла (Weibull distribution)**

$P_w$

Вероятностная функция распределения, см. п.3.63

3.60

**ветропарк (wind farm)**

см. п. 3.61

3.61

**ветроэлектростанция (wind power station)**

группа или группы ВЭУ, обычно называемые ветропарком

3.62

**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 (уравнение 1) или показательными функциями (уравнение 2).

$$V(z) = V(z_r) \cdot \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_r/z_0)} \quad (1)$$

$$V(z) = V(z_r) \cdot \left(\frac{z}{z_r}\right)^\alpha \quad (2)$$

где

$V(z)$  скорость ветра на высоте  $Z$ ;

$Z$  высота над поверхностью земли;

$z_r$  базовая высота над землей, используемая для построения профиля;

$Z_0$  параметр шероховатости;

$\alpha$  показатель степени кривой функции распределения

Примечание. Зависимость скорости ветра по высоте в приземном слое, определяемая для конкретной местности на основе измерений скорости ветра на различной высоте относительно земной поверхности (ГОСТ 51237)

## 3.63

### распределение скорости ветра (wind speed distribution)

вероятностная функция распределения, используемая для описания распределения скоростей ветра за продолжительный период времени

Примечание. Наиболее часто используют функцию Рэля  $P_R(V_0)$  и функцию распределения Вейбулла  $P_w(V_0)$ .

$$P_R(V_0) = 1 - \exp\left[-\pi(V_0/2V_{ave})^2\right] \quad (3)$$

$$P_w(V_0) = 1 - \exp\left[-(V_0/C)^k\right]$$
$$C V_{ave} = \left\{ \begin{array}{l} C\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \\ C\sqrt{\pi}/2, \quad \text{если } k = 2 \end{array} \right\}, \quad (4)$$

где  $P(V_0)$  - совокупная функция вероятности, то есть вероятность что  $V < V_0$ ;

$V_0$  предельная скорость ветра;

$V_{ave}$  среднее значение  $V$ ;

$C$  масштабный параметр функции Вейбулла;

$k$  параметр формы функции Вейбулла;

$\Gamma$  гамма функция.

Оба параметра  $C$  и  $k$  можно определить на основе измеренных данных. Функция Рэля идентична функции Вейбулла при  $k=2$ , а  $C$  и  $V_{ave}$  удовлетворяют условиям, установленным в (4) при  $k=2$ .

Функции распределения выражают совокупную вероятность того, что скорость ветра ниже чем  $V_0$ . Таким образом разность  $(P(V_1) - P(V_2))$ , если она оценивается между указанными пределами

$V_1$  и  $V_2$ , укажет долю времени, в течение которого когда скорость ветра остается в этих пределах. Дифференцирование функций распределения дает соответствующие функции плотности вероятности

*Примечание. Функция статистической закономерности частот вариаций скоростей ветра за определенный период времени, аппроксимирующая статистические данные наблюдений (ГОСТ 51237)*

3.64

**сдвиг ветра (wind shear)**

изменение скорости ветра в плоскости, перпендикулярной направлению ветра

3.65

**показатель степени кривой сдвига (wind shear exponent)**

$\alpha$

также известный как показатель степени закона распределения, см. п. 3.62

3.66

**абсолютная величина вектора скорости ветра (wind speed)**

$V$

скорость ветра для заданной точки в пространстве – это скорость движения элементарного количества воздуха, окружающего указанную точку

Примечание. Скорость ветра - это также величина локального вектора скорости ветра (см. п. 3.69)

3.67

**установка электрическая ветровая (ВЭУ) (wind turbine generator system (wind turbine))**

система, которая преобразовывает кинетическую энергию ветра в электрическую энергию

3.68

**площадка для размещения ВЭУ (wind turbine site)**

место, определенное для установки одной отдельно взятой ВЭУ или территория в пределах ветропарка

3.69

**вектор скорости ветра (wind velocity)**

вектор, указывающий направление движения элементарного объема воздуха, окружающего рассматриваемую точку. Величина вектора равна скорости движения этого элементарного объема воздуха (то есть локальной скорости ветра)

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

3.70

**электрическая система ВЭУ (wind turbine electrical system)**

включает все электрическое оборудование, установленное внутри ВЭУ, включая ее клеммы, устройства заземления, заземляющие перемычки и средства связи. Провода заземления, являющиеся по отношению к ВЭУ местными, которые предназначены для заземления электрической сети, в частности ВЭУ, также входят в электрическую систему ВЭУ

### 3.71

#### **клеммы ВЭУ (wind turbine terminals)**

точка или точки, обозначенные поставщиком, в которых ВЭУ подключается к сети сбора мощности. Они представляют собой соединительные устройства, обеспечивающие передачу энергии и связь

### 3.72

#### **установка на ветер (рыскание) (yawing)**

поворот оси ветроколеса относительно вертикальной оси (только для горизонтально-осевых ВЭУ)

### 3.73

#### **расогласование ориентации на ветер (установки, рыскания) (yaw misalignment)**

отклонение оси вращения ветроколеса в горизонтальной плоскости от направления ветра

## **4 Сокращения и обозначения**

### **4.1 Обозначения**

$C$	масштабный параметр функции Вейбулла	$[м/с]$
$C_{CT}$	корректирующий множитель для учета турбулентности, вызванной сложным ландшафтом	
$C_T$	коэффициент тяги	
$C_{oh}$	функция когерентности	
$D$	диаметр ветроколеса	$[м]$
$f$	частота	$[с^{-1}]$
$f_d$	проектная расчетная величина прочности материала	$[-]$
$f_k$	нормативная величина прочности материала	$[-]$
$F_d$	проектная расчетная величина суммарной внутренней нагрузки	$[-]$
$F_k$	нормативная величина нагрузки	
$I_{ref}$	ожидаемое значение интенсивности турбулентности воздушного потока при средней скорости 15 м/с, определенной на 10-ти минутном интервале, на высоте оси ветроколеса	$[-]$

$I_{eff}$	эффективная интенсивность турбулентности	[–]
$k$	параметр формы функции распределения Вейбулла	[–]
$K$	модифицированная функция Бесселя	[–]
$L$	интегральный масштабный параметр изотропной турбулентности	[м]
$L_e$	масштабный параметр когерентности	[м]
$L_k$	интегральный масштабный параметр составляющей вектора скорости	[м]
$m$	показатель степени кривой Веллера	[–]
$n_i$	подсчитанное число усталостных циклов в $i$ -ом бине нагрузки	[–]
$N(\cdot)$	число циклов до разрушения как функция напряжения (или деформации) для указанного аргумента (то есть характеристическая кривая S-N)	[–]
$N$	период повторяемости экстремальных ситуаций	[год]
$p$	вероятность выживания	[–]
$P_R(V_0)$	вероятностная функция распределения Рэлея, то есть вероятность того, что $V < V_0$	[–]
$P_W(V_0)$	вероятностная функция распределения Вейбулла	[–]
$r$	величина проекции вектора разделения	[м]
$s_i$	уровень напряжения (деформации), зависящий от подсчитанного числа циклов в $i$ -ом бине	[–]
$S_1(f)$	спектральная плотность энергии продольной составляющей	[м <sup>2</sup> / с]
$S_k$	спектр односторонней составляющей вектора скорости	[м <sup>2</sup> / с]
$T$	собственное значение времени порыва	[с]
$t$	время	[с]
$V$	скорость ветра	[м / с]
$V(z)$	скорость ветра на высоте $Z$ над уровнем земли	[м / с]
$V_{ave}$	среднее значение скорости ветра	[м / с]
$V_{cg}$	величина экстремального когерентного порыва на всей площади ометаемой ветроколесом	[м / с]
$V_{eN}$	ожидаемая экстремальная скорость ветра (средняя за три секунды) с периодом повторяемости $N$ лет. $V_{e1}$ и $V_{e50}$ с периодами повторяемости 1 год и 50 лет соответственно	[м / с]
$V_{gust}$	величина скорости порыва ветра на высоте оси ветроколеса	[м / с]
$V_{hub}$	скорость набегающего воздушного потока на	

	высоте оси ветроколеса	[м/с]
$V_{in}$	минимальная рабочая скорость ветра	[м/с]
$V_0$	предельная величина скорости ветра в модели распределения скорости ветра	[м/с]
$V_{out}$	максимальная рабочая скорость ветра	[м/с]
$V_r$	номинальная скорость ветра	[м/с]
$V_{ref}$	базовая скорость ветра	[м/с]
$V(y, z, t)$	продольная составляющая вектора скорости, описывающая переходный процесс для горизонтального сдвига	[м/с]
$V(z, t)$	продольная составляющая вектора скорости, описывающая переходный процесс при экстремальном порыве и сдвиге ветра	[м/с]
$x, y, z$	координаты системы, используемая для описания векторного поля скоростей: вдоль ветра (продольных), поперек ветра (поперечных) и по высоте (восходящих) соответственно	[м]
$Z_{hub}$	высота оси ветроколеса над поверхностью земли	[м]
$Z_r$	базовая высота над уровнем земли	[м]
$Z_0$	параметр шероховатости подстилающей поверхности для построения логарифмического профиля ветра	[м]
$\alpha$	показатель степени кривой профиля ветра	[-]
$\beta$	параметр, использующийся в модели экстремального изменения направления	[-]
$\delta$	коэффициент вариации	[-]
$\Gamma$	гамма функция	[-]
$\gamma_f$	парциальный коэффициент безопасности по нагрузкам	[-]
$\gamma_m$	парциальный коэффициент безопасности для материала	[-]
$\gamma_n$	парциальный коэффициент безопасности, учитывающий последствия отказа	[-]
$\theta(t)$	переходный процесс изменения направления ветра	[град]
$\theta_{cg}$	угол максимального отклонения от направления средней скорости ветра в случае порыва	[град]
$\theta_e$	величина экстремального изменения направления ветра	[град]
$\Lambda_1$	продольный масштабный параметр турбулентности воздушного потока, определенный, как длина волны при которой безразмерная спектральная плотность энергии продольной составляющей	

	скорости $fS_1(f)/\sigma_1^2$ равна 0,05	[м]
$\hat{\sigma}$	расчетное среднеквадратичное отклонение турбулентности набегающего воздушного потока (дисперсия)	[м/с]
$\hat{\sigma}_{eff}$	эффективное расчетное среднеквадратичное отклонение турбулентности набегающего воздушного потока (дисперсия)	[м/с]
$\sigma_{wake}$	среднеквадратичное отклонение турбулентности, вызванной спутной струей	[м/с]
$\hat{\sigma}_T$	максимальная дисперсия турбулентности в центре спутной струи на оси ветроколеса	[м/с]
$\hat{\sigma}_\sigma$	среднеквадратичное отклонение расчетного среднеквадратичного отклонения турбулентности набегающего воздушного потока	[м/с]
$\sigma_1$	среднеквадратическое отклонение продольной составляющей скорости ветра (дисперсия)	[м/с]
$\sigma_2$	среднеквадратическое отклонение поперечной составляющей скорости ветра (дисперсия)	[м/с]
$\sigma_3$	среднеквадратическое отклонение восходящей составляющей скорости ветра (дисперсия)	[м/с]
$E\langle \rangle$	ожидаемая величина параметра, помещенного в скобки	[-]
$Var\langle \rangle$	вариация параметра, помещенного в скобки	[-]

## 4.2 Сокращения

А (A)	аварийный (при определении коэффициентов безопасности)
ПСН (DLC)	проектный случай нагружения
ЭКН (ECD)	Экстремальный когерентный порыв с изменением направления
ЭИН (EDC)	Экстремальное изменение направления
ЭРП (EOG)	Экстремальная величина рабочего порыва
ЭМТ (ETM)	Экстремальная модель турбулентности
МЭВ (EWM)	Модель экстремальной скорости ветра
ЭСВ (EWS)	Экстремальный сдвиг воздушного потока
У (F)	усталостное нагружение
Н (N)	нормальный случай нагружения (для парциальных коэффициентов безопасности)
НПВ (NWP)	Модель нормального профиля ветра.
НМТ (NTM)	Модель нормальной турбулентности
S S	специальный класс безопасности
T (T)	нагрузки при транспортировании и возведении

П (U)	предельные нагрузки
МС	метеорологическая станция
ПОС	проект организации строительства
ППР	проект производства работ

*Примечание. В настоящем модифицированном стандарте не используются сокращения, присутствующие в 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.*

## **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 статьях. Данное подробное описание требований относится к проектированию, производству, строительству, руководствам по эксплуатации и техническому обслуживанию ВЭУ и связанному с этим процессу обеспечения качества. Кроме этого учтены нормы безопасности, которые были подтверждены богатым опытом строительства, эксплуатации и технического обслуживания ВЭУ.

### **5.2 Методология проектирования**

Для определения расчетных нагрузок должно быть использовано структурное динамическое моделирование. Данная модель должна использоваться для определения нагрузок, возникающих под воздействием ветра в заданном диапазоне скоростей, учитывать турбулентность воздушного потока, прочие характеристики ветра, определенные в п.6, и проектные состояния конструкций, описанные в п.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 могут использоваться для увеличения степени надежности проектных параметров и величин, а также для подтверждения соответствия структурных динамических моделей и проектных состояний.

Подтверждение соответствия конструкции может быть выполнено 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 характеристические 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 назначается 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 п. 7.6 данного 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 п. 6.2.

### 5.4 Гарантии качества

Гарантия качества 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 9001:2001 и ГОСТ Р ИСО 9004:2001*

### 5.5 Маркировка ВЭУ

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

- страна и фирма-изготовитель ВЭУ;
- модель и серийный номер изделия;
- климатическое исполнение;
- дата изготовления;
- номинальная мощность;
- базовая скорость ветра,  $V_{ref}$  ;
- рабочий диапазон скорости ветра на уровне оси ветроколеса,  $V_{in} - V_{out}$
- рабочий диапазон температур
- класс безопасности ВЭУ (Табл. 1);
- номинальное напряжение и ток на клеммах ВЭУ с указанием диапазона;



- частота тока на клеммах ВЭУ или диапазон изменения частоты, если номинальное отклонение превышает 2%.

*В числе дополнительных данных следует указать:*

- максимальную массу башины;
- 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 внешней окружающей среды**

### **6.1 Основные положения**

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

Каждый вид факторов внешней 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 внешней 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 внешней 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;*
- солнечной радиации с расчетной интегральной поверхностной плотностью теплового потока (верхнее рабочее значение) до 1125 Вт/м<sup>2</sup>;*
- соляного тумана и плесневых грибов для исполнения Т;*
- воздуха запыленностью не более 2,5 г/м<sup>3</sup> 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.*

*Примечание — 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 внешней 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 процессы турбулентности и требованиями к 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, III или S. В том случае, когда выявлено наличие более жестких режимов ветра, чем это предусмотрено в Таблице 1, или требуется обеспечение специальных условий безопасности (п. 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.

Таблица 1

Базовые параметры классов ВЭУ

Класс ВЭУ	I	II	III	S
V <sub>ref</sub> (м/с)	50	42,5	37,5	Значения расчетных параметров назначаются проектировщиком
A I <sub>ref</sub> (-)	0,16			
B I <sub>ref</sub> (-)	0,14			
C I <sub>ref</sub> (-)	0,12			

Значения параметров приведены к оси ветроколеса.

I, II, III – нормальные классы ВЭУ;

S – специальный класс;

- А- подкласс ВЭУ для повышенной турбулентности;
- В- подкласс ВЭУ для умеренной турбулентности;
- С- подкласс ВЭУ для низкого уровня турбулентности;

$I_{ref}$  – ожидаемое значение интенсивности турбулентности воздушного потока при средней скорости 15 м/с, определенной на 10-ти минутном интервале, на высоте оси ветроколеса.

Для полной характеристики внешних условий, используемых при проектировании ВЭУ нормальных классов (в соответствии с Табл. 1 от  $I_A$  до  $III_C$ ), должны быть дополнительно использованы параметры, величины которых установлены в п.п. 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 п. 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 п.7.4.

### **6.3 Режимы ветра**

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

Проектные 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.

Режимы ветра рассматриваются как постоянный осредненный воздушный поток, сочетаемый во многих случаях с переменным детерминированным профилем порыва ветра или с турбулентностью. Во всех случаях должно быть рассмотрено влияние отклонения осредненного потока (далее средний поток) относительно горизонтальной плоскости до  $8^\circ$ . Этот угол отклонения потока принимается постоянным по высоте.

Выражение "турбулентность" обозначает среднюю величину случайных изменений скорости ветра в течение 10 минут. 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 составляющих вектора, описывающие турбулентность, определяются как:

- продольная составляющая - по направлению средней скорости ветра;
- боковая составляющая - горизонтально и перпендикулярно к продольной составляющей;
- составляющая, направленная вверх (восходящая), - перпендикулярно к продольной и боковой составляющей, то есть 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:

- Среднеквадратическое отклонение продольной составляющей скорости ветра  $\sigma_1$  принимается постоянным по высоте и определяется в п.п. 6.3.1.3, 6.3.2.1, 6.3.2.3; составляющие, перпендикулярные к среднему направлению воздушного потока, должны иметь следующие наименьшие характеристические отклонения:

- боковая составляющая:  $\sigma_2 \geq 0,7\sigma_1$ ;
- восходящая составляющая:  $\sigma_3 \geq 0,5\sigma_1$

- Продольный масштабный параметр турбулентности воздушного потока  $\Lambda_1$  на высоте оси ветроколеса  $z$  выражается зависимостью:

$$\Lambda_1 = \begin{cases} 0,7Z & z \leq 60\text{м} \\ 42\text{м} & z \geq 60\text{м} \end{cases} \quad (5)$$

В направлении высокой частоты инерциального поддиапазона спектральные плотности энергии трех ортогональных составляющих  $S_1(f)$ ,  $S_2(f)$ ,  $S_3(f)$  должны асимптотически приближаться к виду:

$$S_1(f) = 0,05\sigma_1^2 (\Lambda_1 / V_{hub})^{-2/3} f^{-5/3} \quad (6)$$

$$S_2(f) = S_3(f) = \frac{4}{3} S_1(f) \quad (7)$$

Может также использоваться общепризнанная модель для описания когерентности, определяемая совокупной величиной взаимной спектральной плотности продольных составляющих вектора скорости, деленной на автоспектральную функцию в пространственно удаленных точках плоскости, нормальной к продольному направлению.

Рекомендуется использовать универсальную модель Манна для турбулентности сдвига, которая удовлетворяет изложенным требованиям

(Приложение В). Другая часто используемая модель - модель Каймала, которая удовлетворяют 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 ветроколеса, определенная на 10 – минутном интервале, может быть определена в соответствии с распределением Рэля:

$$P_R(v_{hub}) = 1 - \exp[-\pi(v_{hub}/2v_{ave})^2] \quad (8)$$

где:

- $V_{hub}$  - скорость набегающего воздушного потока на высоте оси ветроколеса (для ВЭУ с горизонтальной осью вращения);
- $V_{ave}$  - среднее значение скорости ветра.

Для стандартных классов ВЭУ

$$V_{ave} = 0,2V_{ref} \quad (9)$$

#### 6.3.1.2 Модель нормального профиля ветра. (НПВ)

Профиль ветра,  $V(z)$ , определяет среднюю скорость ветра в функции высоты  $Z$  над уровнем земли. Для стандартных классов ВЭУ нормальный профиль скорости ветра должен быть определен в соответствии:

$$V(z) = V_{hub} \left( \frac{Z}{Z_{hub}} \right)^\alpha \quad (10)$$

Показатель степени,  $\alpha$ , принимается равным 0,2.

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

#### 6.3.1.3 Модель нормальной турбулентности (НМТ)

Для модели нормальной турбулентности, среднеквадратическое отклонение продольной составляющей скорости ветра на высоте оси ветроколеса для 90%<sup>4</sup> квантиля и стандартных классов ВЭУ задается выражением:

$$\sigma_1 = I_{ref} (0,75V_{hub} + b); \quad b = 5,6 м / с \quad (11)$$

<sup>4</sup> Примечание: Если желательны другие квантили для дополнительных необязательных вычислений нагрузок, то для ВЭУ стандартных классов они могут быть аппроксимированы логарифмическим законом распределения

$$E\langle\sigma_1|V_{hub}\rangle = I_{ref} (0,75V_{hub} + c); \quad c = 3,8 \text{ м / с}$$

$$Var\langle\sigma_1|V_{hub}\rangle = (I_{ref} (1,4\text{м / с}))^2$$

Характеристическое значение стандартного отклонения  $\sigma_1$  и интенсивности турбулентности

$$\sigma_1 / V_{hub}$$

показано на Рис 1 а и 1 б.

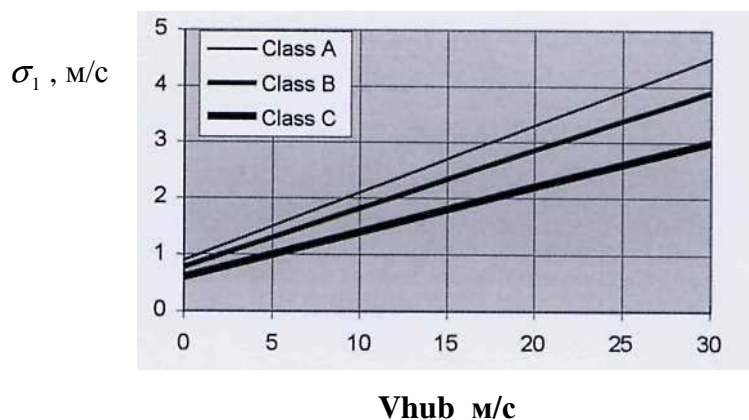


Рисунок 1а -Среднеквадратическое отклонение продольной составляющей скорости ветра для модели **НМТ**

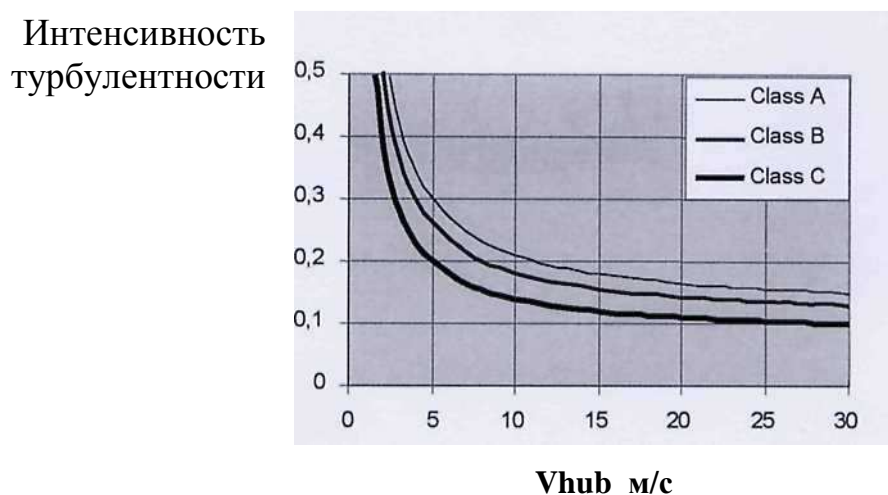


Рисунок 1б –Интенсивность турбулентности для модели **НМТ**

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 (МЭВ)

В качестве МЭВ может быть выбрана как модель стабильного перемещения воздушного потока, так и турбулентная модель ветра. Данные модели ветра должны быть основаны на  $V_{ref}$  - базовой скорости ветра и фиксированном значении величины среднеквадратического отклонения  $\sigma_1$ .

В модели стабильного экстремального воздушного потока, экстремальная скорость ветра,  $V_{e50}$ , с периодом повторяемости 50 лет, и экстремальная скорость ветра  $V_{e1}$ , с периодом повторяемости 1 год, определяются в функции высоты  $z$ :

$$V_{e50}(Z) = 1,4V_{ref} (Z/Z_{hub})^{0,11} \quad (12)$$

$$V_{e1}(z) = 0,8V_{e50}(z), \quad (13)$$

В случае применения модели стабильного экстремального воздушного потока, необходимо сделать поправку на кратковременные отклонения воздушного потока от среднего направления, которая учитывается постоянным углом отклонения набегающего воздушного потока в диапазоне  $\pm 15^0$ .

В турбулентной модели экстремального ветра средние скорости ветра на интервале в 10 минут определяются в функции  $Z$  для периодов повторяемости 50 лет и 1 год соответственно:

$$V_{50}(z) = V_{ref} \left( \frac{Z}{Z_{hub}} \right)^{0,11} \quad (14)$$

$$V_1 = 0,8V_{50}(z) \quad (15)$$

Величина среднеквадратического отклонения продольной составляющей<sup>5</sup>:

$$\sigma_1 = 0,11 V_{hub} \quad (16)$$

<sup>5</sup> Примечание: Среднеквадратическое отклонение для турбулентной модели экстремального ветра не относится к нормальной (НМТ) модели или модели экстремальной турбулентности (ЭМТ). Модель стабильного экстремального воздушного потока соотносится с турбулентной моделью экстремального ветра через коэффициент амплитуды, равный примерно 3,5.

#### 6.3.2.2 Экстремальная величина рабочего порыва (ЭРП)

Величина скорости порыва ветра на высоте оси ветроколеса  $V_{gust}$ <sup>6</sup> для периода повторяемости 50 лет для стандартного класса ВЭУ определяется следующей зависимостью:



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

где

$\sigma_1$  - стандартное отклонение в соответствии с выражением (11);

$\Lambda_1$  - масштабный параметр турбулентности в соответствии с выражением (5);

D - диаметр ветроколеса

<sup>6</sup> Примечание: Величина порыва была выверена в соответствии эксплуатационными режимами пусков и остановов для учета периода повторяемости 50 лет.

Скорость ветра должна быть определена уравнением:

$$V(z,t) = \begin{cases} V(z) - 0,37V_{gust} \sin(3\pi/T)(1 - \cos(2\pi/T)) & \text{для } 0 \leq t \leq T \\ V(z) & \text{для прочих случаев} \end{cases}, \quad (18)$$

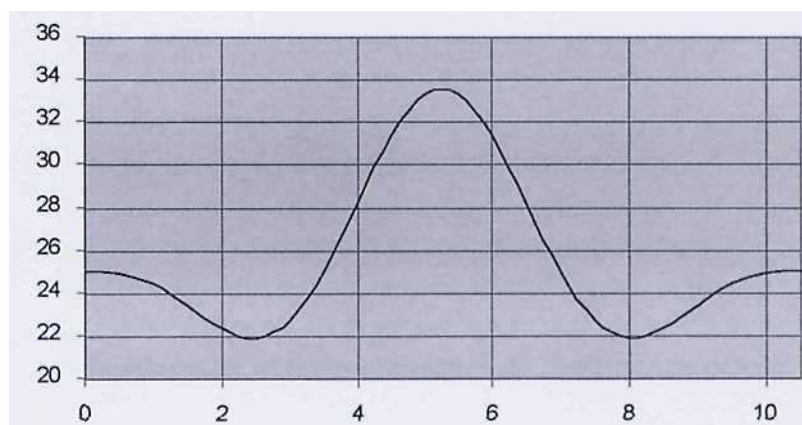
где

V(z) определена в уравнении (10)

T = 10,5 с.

Пример экстремального рабочего порыва ( $V_{hub} = 25$  м/с, Класс 1А, D = 42 м) показан на рисунке 2:

Скорость ветра  
на высоте оси  
ветроколеса



Время, T с.

Рисунок 2 - Пример экстремального рабочего порыва

### 6.3.2.3 Экстремальная модель турбулентности (ЭМТ)

Рекомендуется для экстремальной модели турбулентности использовать модель нормального профиля ветра (п. 6.3.1.2) и турбулентность со среднеквадратическим отклонением продольной составляющей  $\sigma_1$ , определенным

в соответствии с уравнением:

$$\sigma_1 = cI_{ref} \left( 0,072 \left( \frac{V_{ave}}{c} + 3 \right) \left( \frac{V_{hub}}{c} - 4 \right) + 10 \right); \quad c=2 \text{ м/с} \quad (19)$$

#### 6.3.2.4 Экстремальное изменение направления (ЭИН)

Величину экстремального изменения направления  $\theta_e$  следует вычислять в соответствии с выражением:

$$\theta_e = \pm 4 \arctan \left( \frac{\sigma_1}{V_{hub} \left( 1 + 0,1 \left( \frac{D}{\Lambda_1} \right) \right)} \right) \quad (20)$$

где

$\sigma_1$  определяется выражением (11) для НТМ

$\theta_e$  ограничен интервалом  $\pm 180^\circ$ ;

$\Lambda_1$  - масштабный параметр турбулентности в соответствии с выражением (5);

D - диаметр ветроколеса;

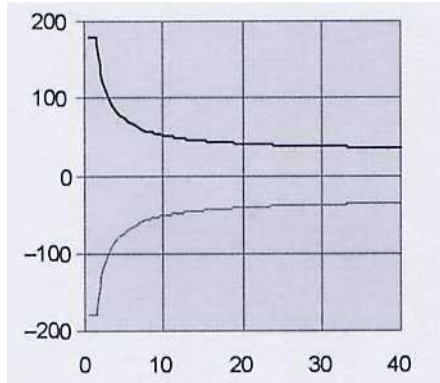
Переходный участок процесса экстремального изменения направления  $\theta(t)$  определяется выражением:

$$\theta(t) = \begin{cases} 0 & \text{для } t \leq 0 \\ \pm 0,5\theta_e (1 - \cos(\pi/T)) & \text{для } 0 \leq t \leq T \\ \theta_e & \text{для } t > T \end{cases} \quad (21)$$

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, направление остается неизменным. Поведение скорости ветра подчиняется модели нормального профиля ветра в соответствии п. 6.3.1.2.

В качестве примера на Рисунке 3 показано экстремальное изменение направления для подкласса турбулентности А, диаметром D=42 м, высотой оси ветроколеса 30 м для различных  $V_{hub}$ . Соответствующий переходный процесс для  $V_{hub}=25$  м/с показан на Рисунке 4.

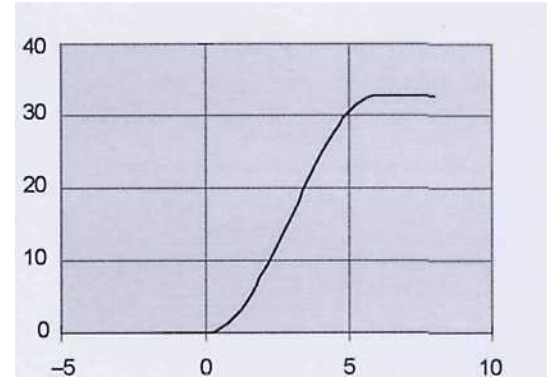
(ЭИН)  
изменение  $\theta_e$ ,  
град



Скорость ветра  $V_{hub}$ , м/с

Рисунок 3- Пример экстремальной величины изменения направления

(ЭИН)  
изменение  
направления  
 $\theta(t)$ , град



Время,  $t$ , с.

Рисунок 4- Пример экстремального изменения направления

### 6.3.2.5 Экстремальный когерентный порыв с изменением направления

(ЭКН)

Величина экстремального когерентного порыва с изменением направления должна быть:

$$V_{cg} = 15 \text{ м/с} \quad (22)$$

Скорость ветра определяется выражением:

$$V(z, t) = \begin{cases} V(z) & \text{для } t < 0 \\ V(z) + 0,5V_{cg}(1 - \cos(\pi t/T)) & \text{для } 0 \leq t \leq T, \\ V(z) + V_{cg} & \text{для } t > T \end{cases} \quad (23)$$

где

$T=10$  с- время нарастания;

$$V(z) = V_{hub} \left( \frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha$$

. В расчетах используется модель нормального профиля скорости ветра в соответствии с п. 6.3.1.2. Нарастание скорости ветра в течение экстремального когерентного порыва ветра проиллюстрировано на Рисунке 5 для  $V_{hub} = 25 \text{ м/с}$

Скорость ветра  
 $V(z, t)$ , м/с

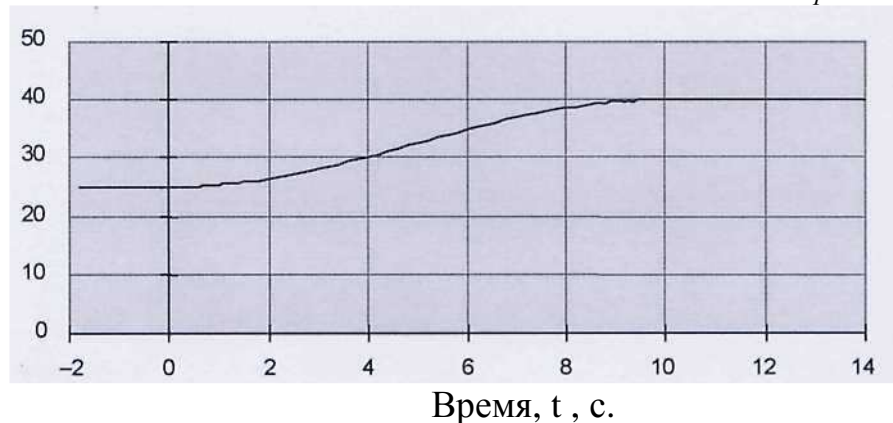


Рисунок 5- Пример экстремального когерентного порыва с изменением амплитуды порыва для ЭКН

Предполагается, что нарастание скорости ветра происходит одновременно с изменением направления от  $0^0$  до, включая,  $\theta_{cg}$ , величина  $\theta_{cg}$  определяется выражением:

$$\theta_{cg}(V_{hub}) = \begin{cases} 180^0 & \text{для } V_{hub} < 4,0 \text{ м/с} \\ 720^0 & \text{для } 4,5 \text{ м/с} \leq V_{hub} \leq V_{ref} \\ V_{hub} & \end{cases} \quad (24)$$

Одновременное изменение направления определяется выражением:

$$\theta(t) = \begin{cases} 0^0 & \text{для } t < 0 \\ \pm 0,5\theta_{cg}(1 - \cos(\pi t/T)) & \text{для } 0 \leq t \leq T, \\ \pm \theta_{cg} & \text{для } t > T \end{cases} \quad (25)$$

где  $T=10$  с - время нарастания. В расчетах используется модель нормального профиля скорости ветра.

Величина изменения направления  $\theta_{cg}$  и процесс изменения направления  $\theta(t)$  показаны в функции  $V_{hub}$  и в функции времени для  $V_{hub} = 25$  м/с на Рисунках 6 и 7 соответственно.

Изменение  
направления  
 $\Theta_{сг}$ , град



Изменение  
направления  
 $\Theta(t)$ , град

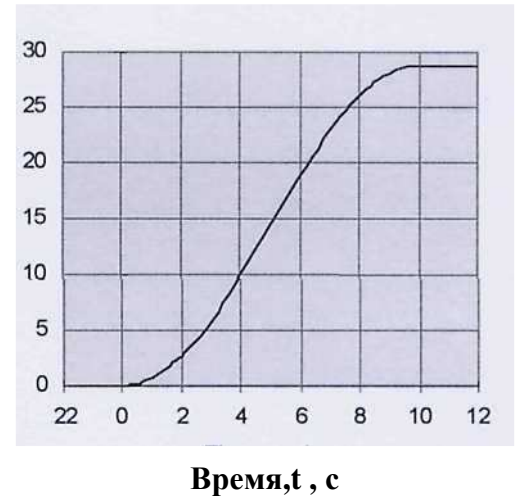


Рисунок 6 – Изменение направления для ЭЖН

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 неустановившейся скорости воздушного потока:

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

$$V(z, t) = \begin{cases} V_{hub} \left( \frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \pm \left( \frac{z - z_{hub}}{D} \right) \left( 2,5 + 0,2\beta\sigma_1 \left( \frac{D}{\Lambda_1} \right)^{1/4} \right) (1 - \cos(2\pi t/T)) & \text{для } 0 \leq t \leq T \\ V_{hub} \left( \frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha & \text{для } t < 0 \text{ и } t > T \end{cases} \text{ СДВ}$$

иг по горизонтали для неустановившейся скорости:

$$V(y, z, t) = \begin{cases} V_{hub} \left( \frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha \pm \left( \frac{y}{D} \right) \left( 2,5 + 0,2\beta\sigma_1 \left( \frac{D}{\Lambda_1} \right)^{1/4} \right) (1 - \cos(2\pi t/T)) & \text{для } 0 \leq t \leq T \\ V_{hub} \left( \frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha & \text{для } t < 0 \text{ и } t > T \end{cases}$$

где для вертикального и горизонтального сдвига:

$$\alpha = 0,2; \beta = 6,4; T = 12 \text{ с};$$

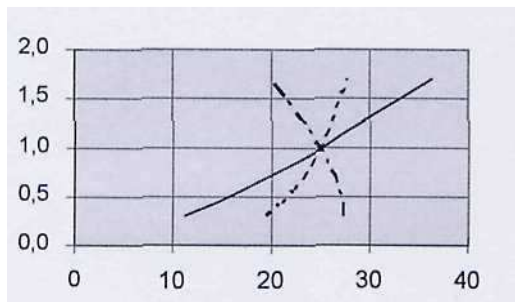
$\sigma_1$  - определяется выражением (11) для НТМ;

$\Lambda_1$  - масштабный параметр турбулентности, в соответствии с выражением (5);

D- диаметр ветроколеса.

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.

Z/Zhub

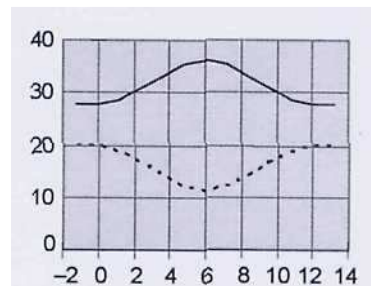


Скорость ветра,  $V(z,t)$ , м/с

- - - - - для  $t=0$   
 ————— для положительного  $t=T/2$   
 - . . . . . для отрицательного  $t=T/2$

Рисунок 8- Пример экстремального положительного и отрицательного вертикального сдвига ветра, профиль ветра до начала сдвига ( $t=0$ , пунктирная линия) и при наибольшем сдвиге ( $t=6$  с, сплошная линия)

Скорость  
ветра  
 $V(z,t)$ , м/с



Время,  $t$ , с

————— Верхняя точка ветроколеса  
 - . . . . . Нижняя точка ветроколеса

Рисунок 9– Пример скоростей ветра в верхней и нижней точках ветроколеса иллюстрирует переходный положительный сдвиг

На Рисунке 8 показано экстремальное распределение воздушного потока по вертикали до начала воздействия ( $t=0$ , пунктирная линия) и при максимальном сдвиге ( $t=6$  с, сплошная линия) (подкласс турбулентности А,  $Z_{hub} = 30$  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 во времени (условия, как для Рисунка 8).

## 6.4 Прочие факторы окружающей среды

Прочие факторы окружающей среды могут оказывать воздействие 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).

В случае необходимости данный перечень может быть расширен.

Для морских прибрежных условий факторы окружающей среды требуют дополнительного рассмотрения.

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

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

Если взаимосвязь не существует, прочие экстремальные факторы окружающей среды в соответствии с п. 6.4.2 должны быть скомбинированы с факторами нормального режима ветра в соответствии с п. 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  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ;
- относительная влажность воздуха до 95%;
- чистота атмосферы соответствует не загрязненной атмосфере над сушей (ГОСТ Р 51991-2002);
- интенсивность солнечной радиации  $1\ 000\ \text{Вт/м}^2$ ;
- плотность атмосферного воздуха  $1,225\ \text{кг/м}^3$

Если проектировщик указывает дополнительные внешние факторы, то параметры и их величины должны быть отражены в проектной документации и соответствовать требованиям ГОСТ Р 51991-2002

#### **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 п. 11.6).

#### **6.4.2.1 Экстремальные перепады температур.**

Проектными значениями экстремальных перепадов температур являются интервалы как минимум  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  для стандартных классов ВЭУ.

#### **6.4.2.2 Гроза.**

Условия защиты от грозовых разрядов, приведенные в п. 10.6 настоящего стандарта, являются достаточными 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 п. 11.6 настоящего стандарта и СНиП [1]

### **6. 5 Влияние сети подключения**

При проектировании ВЭУ должны быть рассмотрены нормальные условия, возникающие на концевых 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 отношению к составляющей прямой последовательности фаз не должно превышать 2%;
- Циклы автоматического повторного включения – период цикла первого автоматического повторного включения от 0,1 с до 5 с, второго - от 10 с до 90 с;
- Простой - количество отключений от сети следует принять равным 20 в год. Нормальным следует считать отключение до 6 час <sup>7</sup>, что соответствует продолжительности самой сильной грозы. Отключение продолжительностью до 1 недели должно рассматриваться как экстремальное условие.

<sup>7</sup> Примечание: Отключение продолжительностью шесть часов принято, исходя из продолжительности самой сильной части шторма.



## **7 Проектирование конструкции**

### **7.1 Основные положения**

При проектировании конструкции ВЭУ должен быть обеспечен требуемый уровень безопасности, целостность конструкции и прочность ее несущих элементов в заданном диапазоне нагрузок. Для подтверждения конструктивной целостности ВЭУ и обеспечения заданного уровня надежности должна быть проверена расчетами и/или испытаниями предельная и усталостная прочность элементов конструкции.

При расчете конструкций должен использоваться ГОСТ 27.001-95.

Расчеты должны быть выполнены в соответствии с установленными 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 (п. 7.6).

### **7.2 Методология проектирования**

Оборудование и конструкция ВЭУ должны обеспечивать заданные режимы эксплуатации под воздействием ветровых нагрузок, определенных классом принадлежности ВЭУ (Таблица 1), соответствовать климатическим характеристикам территории размещения и прочим параметрам окружающей среды, перечисленным ниже. Результаты испытаний: граничных, климатических, механических, на прочность, на устойчивость или натуральных испытаний опытных образцов,- могут также использоваться вместо расчетов для подтверждения прочности конструкции.

### **7.3 Нагрузки**

Нагрузки, описанные в п.п. 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 воздушного потока подвижных и неподвижных частей ВЭУ (в том числе башни и фундамента) и 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 взаимодействием с воздушным потоком, включая аэроупругие эффекты.

### **7.3.3 Эксплуатационные нагрузки**

Эксплуатационные нагрузки возникают в процессе работы ВЭУ и возникают 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 кабрирования 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, нагрузки, вызванные включением - выключением генератора и рысканием.

В 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**

В том случае, если в течение жизненного цикла ВЭУ возникают нагрузки, которые обусловлены особыми условиями эксплуатации ВЭУ: нагрузки от волн (для ВЭУ, размещенных в море), спутной струи, ударные, ледовые; нагрузки, возникающие при транспортировании, установке, монтаже, обслуживании и ремонте ВЭУ, то они должны быть также учтены в расчетах (п. 11.4).

## **7.4 Проектные ситуации и варианты нагружения**

Данный подпункт описывает расчетные варианты нагружения ВЭУ и устанавливает минимальное количество вариантов, которое должно быть рассмотрено при проектировании.

При проектировании ВЭУ ставится цель 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 внешней окружающей среды.

Все соответствующие варианты нагружения, случающиеся с достаточной степенью вероятности, должны быть рассмотрены совместно с функционированием системы управления и защиты. Проектные варианты нагружения, используемые 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 данной 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 детерминистской моделью ветра, контролируемый останов до достижения максимального угла рыскания и/или скорости ветра, то должно быть показано, что ВЭУ может надежно выполнить останов при воздействии турбулентности с теми же самыми определенными изменениями параметров ветра.

Для ВЭУ, имеющих конструктивные особенности, с целью обеспечения принципа 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.

Варианты расчетного нагружения, обозначенные "П", подразделяются на нормальные (Н), аварийные (А) и транспортные/монтажные (Т). В 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. Она может испытывать незначительные отказы или поломки. Возникновение аварийных проектных ситуаций рассматривается как более редкие события. 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  $\gamma_f$  для расчета предельной нагрузки. Эти коэффициенты приведены в Таблице 3.

Таблица 2 – Варианты расчетного нагружения

Проектная ситуация	ПСН	Режим ветра	Прочие условия	Вид расчета	Парциальный коэффициент безопасности
1) Выработка электроэнергии	1.1	НМТ $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Для экстраполяции экстремальных событий	П	Н
	1.2	НМТ $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		У	*
	1.3	ЭМТ $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		П	Н
	1.4	ЭКН $V_{hub} = V_r - 2M/c, V_r,$ $V_r + 2M/c$		П	Н
	1.5	ЭСВ $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		П	Н
2) Выработка электроэнергии + отказ	2.1	НМТ $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Отказ в системе управления или потеря электрической нагрузки	П	Н
	2.2	НМТ $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Система защиты или предшествующий отказ внутренней электрической сети	П	А
	2.3	ЭРП $V_{hub} = V_r \pm 2M/c$ и $V_{out}$	Отказы в системе управления, защиты, электрической сети, включая потерю электрической нагрузки	П	А
	2.4	НМТ $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		У	*
3) Включение	3.1	НПВ $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		У	*
	3.2	ЭРП $V_{hub} = V_r \pm 2M/c, V_{in}$ и $V_{out}$		П	Н
	3.3	ЭИН $V_{hub} = V_r \pm 2M/c, V_{in}$ и $V_{out}$		П	Н
4) Нормальный останов (под контролем системы управления)	4.1	НПВ $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		У	*
	4.2	ЭРП $V_{hub} = V_r \pm 2M/c$ и $V_{out}$		П	Н
5) Аварийный останов	5.1	НМТ $V_{hub} = V_r \pm 2M/c$ и $V_{out}$		П	Н
6) Парковка	6.1	МЭВ 50 –летний период		П	Н

(холостой ход)		повторяемости			
	6.2	МЭВ 50 –летний период повторяемости	Отсоединение от сети	П	А
	6.3	МЭВ период повторяемости 1 год	Экстремальное рассогласование угла рыскания	П	Н
	6.4	НМТ $V_{hub} < 0,7V_{ref}$		У	*
7) Парковка + отказ	7.1	МЭВ период повторяемости 1 год		П	А
8)Транспортиров ание, сборка, техническое обслуживание и ремонт	8.1	НМТ $V_{maint}$ должна быть определена производителем		П	Т
	8.2	МЭВ период повторяемости 1 год		П	А

### Сокращения, использованные в Таблице 2

ПСН	проектный случай нагружения
НМТ	Модель нормальной турбулентности (п. 6.3.1.3)
ЭМТ	Экстремальная модель турбулентности (п. 6.3.2.3)
ЭКН	Экстремальный когерентный порыв с изменением направления (п. 6.3.2.5)
ЭСВ	Экстремальный сдвиг фрагмента воздушного потока (п. 6.3.2.6)
ЭРП	Экстремальная величина рабочего порыва (п. 6.3.2.2)
ЭИН	Экстремальное изменение направления (п. 6.3.2.4)
НПВ	Модель нормального профиля ветра. (п. 6.3.1.2)
МЭВ	Модель экстремальной скорости ветра (п. 6.3.2.1 )
У	Расчет на усталостную прочность (п. 7.6.3)
Н	Нормальный
А	Аварийный
Т	Транспортирование/возведение
П	Расчет по предельным нагрузкам (п. 7.6.2)
$V_{hub} = V_r \pm 2м/с$	Должны быть произведены расчеты для всех скоростей установленного диапазона
*	Парциальный коэффициент безопасности (п. 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 может быть представлен рядом дискретных величин с достаточным разрешением для обеспечения точности вычислений<sup>8</sup>. При определении вариантов расчетного нагружения сделана ссылка на режимы ветра, описанные в п. 6.

<sup>8</sup> Примечание: В большинстве случаев бывает достаточно разрешение в 2 м/с.

#### **7.4.1 Производство электроэнергии (ПСН 1.1 - 1.5)**

В данной проектной ситуации 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 отклонение закручивания), 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 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 для предельных нагрузок, 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 комеле лопасти, и величину прогиба вершины 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 модели турбулентности, используемой в ПСН 1.3, может быть увеличен, пока экстремальные проектные величины, вычисленные в ПСН 1.3, не станут равны или не превысят экстремальные проектные величины этих параметров, вычисленные в ПСН 1.1.

#### **7.4.2 Производство электроэнергии плюс отказы или потеря электрической сети (ПСН 2.1 - 2.4)**

В 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 схеме (например, короткое замыкание в цепи генератора). Для ПСН 2.1 возникновение отказа, связанного с реализацией 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 схемах, 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 худший случай нагружения. Если отказ или потеря электрической связи с сетью не вызывают немедленной остановки ВЭУ, и 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.

#### **7.4.3 Включение (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 производства электроэнергии. Число проектных расчетных ситуаций должно основываться на особенности функционирования системы управления.

#### **7.4.4 Нормальный (контролируемый) останов (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 Аварийный останов (ПСН 5.1)**

Нагрузки, возникающие в процессе аварийного останова, должны быть рассмотрены.

#### **7.4.6 Парковка (заторможенное состояние или состояние покоя) (ПСН 6.1 - 6.4)**

В данном проектном случае нагружения ветроколесо запаркованной ВЭУ либо неподвижно, либо совершает холостой ход (вращается, не вырабатывая электроэнергии). В 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, может использоваться как модель экстремального стабильного потока ветра, так и турбулентная модель экстремальной скорости ветра. Если используется турбулентная модель экстремальной скорости ветра, то характеристики должны быть оценены, используя полномасштабное динамическое моделирование или квазистатический анализ с соответствующими поправками для порывов и динамических реакций, используя положения СНиП [2]. Если используется модель экстремального стабильного потока ветра, то воздействия резонансных характеристик должны быть определены методами квазистатического анализа, упомянутого выше. Если отношение резонансных характеристик к фоновым - меньше чем 5 %, то может использоваться статический анализ на основе модели экстремального стабильного потока ветра.

Если в системе установки на ветер может произойти рассогласование 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. Если ВЭУ испытывает существенные отклонения от положения равновесия, или изменяется ее состояние равновесия, вызванное воздействием ветра в диапазоне от нормальной рабочей скорости до экстремальной, то в проектном расчете эти ситуации должны быть рассмотрены.

В ПСН 6.1 для ВЭУ с активной системой рыскания рассогласование установки на ветер должно быть принято в диапазоне  $\pm 15^\circ$  (для модели экстремального стабильного потока ветра), или  $\pm 8^\circ$  (для турбулентной модели экстремальной скорости ветра), в том случае, когда может быть обеспечено ограничение рассогласования в системе установки на ветер.

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  $\pm 180^\circ$ .

В ПСН 6.3 должен быть рассмотрен экстремальный ветер с периодом повторяемости 1 год при максимальном рассогласовании установки на ветер. При



использовании модели экстремального стабильного перемещения потока воздуха должно быть принято максимальное рассогласование установки на ветер до  $\pm 30^\circ$ , для турбулентной модели экстремальной скорости ветра-  $\pm 20^\circ$ .

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 работающих вхолостую лопастей), может возникнуть существенное усталостное повреждение в каком-либо из элементов конструкции.

#### **7.4.7 Парковка + ситуации 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  $\pm 180^\circ$ . Для прочих отказов, рассогласование должно соответствовать ПСН 6.1.

Если рассогласование в системе рыскания может произойти при воздействии нормативной нагрузки (ПСН 7.1), то должно быть принято в расчет возможное наиболее неблагоприятное рассогласование.

#### **7.4.8 Транспортирование, сборка, техническое обслуживание и ремонт (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 могут привести к существенному нагружению ВЭУ. Для обеспечения приемлемого уровня безопасности изготовитель должен предусмотреть достаточный резерв между установленными и принятыми при проектировании величинами параметров ветра. Достаточный резерв может быть получен при добавлении 5 м/с к установленной величине параметра ветра.

ПСН 8.2 должен включать все состояния ВЭУ при транспортировании, сборке, техническом обслуживании 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 разомкнута. Могут быть приняты меры для уменьшения нагрузок в любой из этих ситуаций до тех пор, пока эти меры не требуют подключения к электрической сети.

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

## 7.5 Расчет нагрузок

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

- возмущения поля ветра, вызванные работой самих ВЭУ (эффекты спутной струи, «затенение» башней, и т.д.);
- влияние пространственного потока на аэродинамические характеристики лопасти (например, трехмерный срыв потока и аэродинамические краевые потери);
- неустойчивые аэродинамические процессы;
- динамика конструкции и ее собственные колебаний;
- аэроупругие эффекты;
- особенности функционирования системы управления защиты ВЭУ.

Для расчета нагрузок, действующих на элементы конструкции ВЭУ, обычно используется динамическое моделирование на основе структурной динамической модели. Некоторые варианты нагружения имеют в качестве исходных данных данные турбулентного воздействия 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 минимальным количеством данных, удовлетворяющих этому условию, являются данные шести 10 - минутных стохастических результатов (или непрерывный 60 -минутный период), при этом для моделирования используется скорость ветра, измеренная на высоте оси ветроколеса. Однако, для ПСН 2.1, 2.2 и 5.1, по крайней мере, 12 моделирований должны быть выполнены для каждого случая при данной скорости

ветра.

Так как начальные условия, используемые для динамического моделирования, обычно оказывают влияние на статистику нагружения в начальный период моделирования, то данные, полученные в течение первых 5 с (или более, в случае необходимости) должны быть исключены из рассмотрения для любого интервала исходных данных, полученных в результате исследования турбулентности.

Во многих случаях местные нагрузки или напряжения в критических сечениях рассматриваемых элементов ВЭУ обусловлены совместным нагружением пространственной системы сил. В этом случае для точного определения расчетных нагрузок иногда используются временные ряды ортогональных нагрузок, полученные в результате моделирования. Когда такие ортогональные составляющие временных рядов используются для вычисления усталостных и предельных нагрузок, тогда 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 может быть использован в проектных расчетах экстремальных и усталостных нагрузок, что позволяет избежать расчетов комбинированных нагрузок.

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

## **7.6 Расчет предельной прочности**

### **7.6.1 Метод**

Парциальные коэффициенты безопасности учитывают неопределенность, непостоянство прикладываемых нагрузок и свойств материалов, различного рода погрешности, не полное 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).

$$F_d = \gamma_f F_k \quad (28)$$

$F_d$  - 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;

$\gamma_f$  - парциальный коэффициент безопасности по нагрузкам;

$F_k$  - нормативная величина нагрузки.

$$f_d = \frac{1}{\gamma_m} f_k \quad (29)$$

где

$f_d$  - проектная расчетная величина, учитывающая свойства материала;

$\gamma_m$  - парциальный коэффициент безопасности для материала; и

$f_k$  - 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;
- не полное соответствие расчетной модели нагрузки.

Парциальные коэффициенты безопасности для материалов, используемые в данном стандарте, в соответствии с ГОСТ 27.001-95, 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  $\gamma_f$ , а относящиеся к материалам – в  $\gamma_m$

### 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 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 класса: данный класс используется для "не

предохраняемых" элементов конструкции, отказы которых могут привести к отказу основных частей ВЭУ.

- элементы 3 класса: данный класс используется для "не предохраняемых" механических элементов, которые связывают приводы и тормоза с главными элементами конструкции без резервирования функций защиты ВЭУ, описанных в п. 8.3.

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

- расчет предельной прочности (см. п. 7.6.2);
- расчет усталостной прочности (см. п. 7.6.3);
- расчет на устойчивость (прогибы, и т.д.) (см. п. 7.6.4);
- проверка критических деформаций (зазор между лопастью и башней, и т.д.) (см. п. 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 могут использоваться 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  $\gamma_m$ , 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, данные 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—75. Если разделение коэффициентов в выбранном стандарте имеет отклонение от ГОСТ 12.2.007.0—75, 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

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

$$\gamma_n \cdot S(F_d) \leq R(f_d) \quad (30)$$

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

$$\gamma_f F_k \leq \frac{1}{\gamma_m \gamma_n} f_k \quad (31)$$

По условию предельной прочности должен быть проверен каждый нагруженный элемент конструкции ВЭУ для каждого 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 набегающим турбулентным потоком с заданным диапазоном изменения скоростей ветра вероятность превышения для нормативной нагрузки должна быть вычислена с учетом распределения скорости ветра, данного в п. 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, меньше чем или равна  $3,8 \times 10^{-7}$  (50-летний период повторяемости) для нормальных проектных ситуаций. Для руководства см. Приложение F.

Для случаев нагружения с указанными детерминированными явлениями в

поле ветра, нормативные нагрузки должны быть вычислены для самого худшего варианта переходного процесса. Для случаев набегания турбулентного воздушного потока должна быть определена средняя величина из числа самых опасных вычисленных нагрузок для различных 10 - минутных случайных наборов 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 в Таблице 3.

Таблица 3 - Парциальные коэффициенты безопасности для нагрузок  $\gamma_f$

Неблагоприятные нагрузки			Благоприятные <sup>9</sup> нагрузки
Нормальные (Н)	Аварийные (А)	Транспортные/монтажные (Т)	Все проектные ситуации
1,35*	1.1	1.5	0.9
* Для проектного случая нагружения ПСН 1,1, при условии, что нагрузки определены методом статистической экстраполяции для заданного интервала скорости ветра между $V_{in}$ и $V_{out}$ , парциальный коэффициент безопасности по нагрузке для нормальных проектных ситуаций должен быть $\gamma_f = 1,25$ .			
Если для рассматриваемой нормальной проектной ситуации может быть рассчитана нормативная величина реакции $F_{gravity}$ от воздействия силы тяжести, и эта нагрузка является неблагоприятной, то парциальный коэффициент безопасности по нагрузкам для комбинированного нагружения силой гравитации (и прочими силами) может иметь величину:			
$\gamma_f = 1,1 + \varphi \zeta^2$ $\varphi = \begin{cases} 0,15 & \text{для ПСН 1,1} \\ 0,25 & \text{для прочих} \end{cases}$ $\zeta = \begin{cases} 1 - \left  \frac{F_{gravity}}{F_k} \right ; &  F_{gravity}  \leq  F_k  \\ 1; &  F_{gravity}  >  F_k  \end{cases}$			
<sup>9</sup> Примечание: 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:			
$\gamma_n S(\gamma_{f, unfav} F_{k, unfav}, \gamma_{f, fav} F_{k, fav}) \leq R(f_d)$			

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 ВЭУ, имеющей конструкцию, подобную конструкции рассматриваемой ВЭУ в отношении аэродинамических характеристик, осуществления процессов управления и динамических реакций.

### 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,  $\gamma_m$ , учитывающего естественную нестабильность прочностных свойств, должна быть:

$$\gamma_m \geq 1,1 \quad (32)$$

для свойств материала с 95% вероятностью выживания,  $p$ , с 95% доверительными пределами.<sup>10</sup> Эта величина относится к элементам, обладающим упругими свойствами<sup>11</sup>, отказы которых могут приводить к отказу главных элементов конструкции ВЭУ, например, трубчатая сварная башня, фланцевое соединение башни, сварная рама гондолы или сочленения лопастей. Виды отказа могут включить:

- пластические деформации упругих материалов;
- разрыв болта в болтовом соединении с достаточным количеством

$\frac{1}{\gamma_m}$  болтов, чтобы обеспечить  $\frac{1}{\gamma_m}$  части нагрузки в результате разрушения одного болта.

<sup>10</sup> Примечание: Нормативные прочностные характеристики должны быть отобраны как 95%-ый квантиль (определенный с 95%-ой достоверностью) или в соответствии с величиной, указанной в сертификате на материалы и полученной в соответствии с установленным порядком проведения испытаний репрезентативных образцов.

<sup>11</sup> Примечание: Упругие свойства в данном случае относятся не только к упругим свойствам материалов, но также к элементам, конструкция которых предусматривает упругое поведение, например, внутреннее резервирование.

Для "не предохраняемых" механических/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 меньше чем:

- 1,2 для глобальной потере 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:  $\gamma_n=0,9$
- элемент класса 2:  $\gamma_n=1,0$
- элемент класса 3:  $\gamma_n=1,3$

### **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,  $\gamma_f$ ,  $\gamma_m$ ,  $\gamma_n$ , должны быть не менее установленных в п.п. 7.6.2.1 и 7.6.2.2.

### **7.6.3 Усталостное разрушение**

Расчеты на усталость должны быть выполнены по соответствующей надежной методике. Например, в соответствии с методикой Майнера, предельное состояние считается достигнутым, когда накопленное повреждение превысит 1. В 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:  $\gamma_f=1,0$

#### **7.6.3.2 Парциальные коэффициенты безопасности для материалов в случае отсутствия установленных стандартов**

Парциальный коэффициент безопасности для материалов  $\gamma_m$  должен быть не менее 1,5 при условии, что кривая S-N основана на 50%-ой вероятности выживания и коэффициенте вариации <15 %.

Для элементов с большим коэффициентом вариации усталостной прочности<sup>12</sup> (в диапазоне от 15 % до 20%), состоящих из многих компонентов (композитные

материалы), например, железобетон или волокниты, парциальный коэффициент безопасности должен быть увеличен, и быть 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, традиционно при построении кривых S-N используется 97,7 % вероятность выживания. В этом случае  $\gamma_m$  может быть принят, равным 1,1. В тех случаях, когда осуществляются периодические осмотры, позволяющие обнаружить критическое развитие усталостной трещины, может использоваться более низкая величина  $\gamma_m$ . Во всех случаях,  $\gamma_m$  должен быть больше 0,9.

Для волокнитов, распределение прочностных характеристик должно быть установлено на основе данных испытаний конкретного материала. Построение кривой S-N должно основываться на 95%-ой вероятности выживания с уровнем доверительной вероятности 95 %. В том случае  $\gamma_m$  может быть предпринят равным 1,2. Аналогичный подход может быть использован для других материалов.

Парциальные коэффициенты безопасности, учитывающие последствия отказа:

- элемент класса 1:  $\gamma_n = 1,0$
- элемент класса 2:  $\gamma_n = 1,15$
- элемент класса 3:  $\gamma_n = 1,3$

<sup>12</sup> Примечание: Усталостная прочность здесь определяется как диапазоны напряжений для заданного числа циклов.

### **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 п.п. 7.6.3.1 и 7.6.3.2, с соответствующим учетом установленных в стандарте квантилей.

### **7.6.4 Устойчивость**

Несущие части "не предохраняемых" элементов конструкции должны сохранять устойчивость в процессе воздействия проектных нагрузок. Для всех других элементов конструкций упругие деформации под действием расчетной нагрузки допустимы. При воздействии 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 п. 7.6.2.1. Парциальные коэффициенты безопасности для материала должны быть не менее, чем определенные в п.7.6.2.2.

### **7.6.5 Проверка критических деформаций**

При проектировании должна быть выполнена проверка, показывающая, что для всех случаев нагружения и всех проектных ситуаций, установленных в Таблице 2, деформации, способные повлиять на структурную целостность ВЭУ, отсутствуют. Одним из самых важных расчетов является проверка величины гарантированного зазора между лопастью и башней для наиболее опасного случая нагружения.

Максимальные упругие деформации в неблагоприятном направлении должны быть определены для случаев нагружения, установленных в Таблице 2, используя нормативные величины нагрузок. Полученную величину деформации затем следует умножить на общий парциальный коэффициент безопасности для нагрузок, материалов и последствий отказа.

#### **Парциальный коэффициент безопасности по нагрузкам.**

Величина парциального коэффициента безопасности по нагрузкам должна быть выбрана из Таблицы 3.

#### **Парциальный коэффициент безопасности для упругих свойств материалов**

Величина  $\gamma_m$  должна быть равна 1,1, кроме тех случаев, когда упругие свойства определены в результате полномасштабных испытаний ( $\gamma_m = 1,0$ ). Особое внимание должно быть уделено учету неопределенности, связанной с геометрическими размерами, и точности метода расчета деформаций.

#### **Парциальный коэффициент безопасности, учитывающий последствия отказа**

- элемент класса 1:  $\gamma_n = 1,0$
- элемент класса 2:  $\gamma_n = 1,0$
- элемент класса 3:  $\gamma_n = 1,3$

Рассчитанные упругие деформации должны быть добавлены к недеформированному положению рассматриваемого элемента в самом неблагоприятном направлении. Полученное положение должно гарантировать отсутствие касания.

Также может использоваться прямой метод определения деформаций на основе динамического анализа. В этом случае нормативная деформация определяется методом, аналогичным для определения нормативных нагрузок для случаев нагружения в Таблице 2. Вероятность превышения для нормативной деформации в самом неблагоприятном направлении должна быть такой же, как для нормативной нагрузки. Вычисленная величина нормативной деформации должна быть умножена на общий коэффициент безопасности и добавлена к положению недеформированного состояния элемента, как описано выше.

### **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 могут быть уменьшены. Величины всех использованных парциальных коэффициентов безопасности должны быть отражены в проектной документации.

## **8 Система управления и защиты**

### **8.1 Основные положения**

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, позволяющее 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, режима технического обслуживания), выбор любого режима должен отменять возможность осуществления всех других видов управления, за исключением аварийного останова. Выбор режима должен

осуществляться переключателем, который может быть замкнут одновременно только на один режим управления. Если некоторые функции осуществляются методами числового программного управления, то должны быть установлены коды доступа для выбора соответствующей функции управления.

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

- мощность;
- 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 пределы 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 под 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 один 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, учитывающего последствия отказа (п. 7.6). Все такие ответственные элементы системы защиты должны быть рассчитаны по предельной прочности, усталости, устойчивости и критическим деформациям.

В случае конфликта системы защиты и системы 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 автоматическое повторное включение ВЭУ должно быть невозможно после восстановления электрической нагрузки или подключения к сети.

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, см. п. 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 разрешающего воздействия оператора.

#### **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 средства, 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, см. п. 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 его наложения, должен быть способен удерживать ветроколесо в состоянии полной остановки при заданных параметрах ветра не менее одного часа. На периоды более длительных отключений от сети, должна быть предусмотрена возможность наложения тормоза, как с помощью резервного источника питания, так и вручную.

## **9 Механические системы**

### **9.1 Основные положения**

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 других устройств. Механическая система ВЭУ, в зависимости от особенностей конструкции, может состоять из элементов цепи привода (коробка передач, валы, муфты), вспомогательных устройств (тормоза, механизмы поворота лопастей, привод ориентации на ветер). Вспомогательные устройства могут быть 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 класса (п. 7.6.1.2), за исключением элементов, для которых должен быть установлен 3 класс.*

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

Остаточный срок службы любого подверженного износу элемента, входящего в систему торможения, должен автоматически контролироваться через установленные интервалы времени. ВЭУ должна быть запаркована 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 наложении тормоза, то конструкция должна быть разработана так, чтобы избежать перегрева, ухудшения рабочих характеристик и риска возникновения пожара.

## **9.2 Ошибки при сборке**

*Должны быть предусмотрены конструктивные меры, исключаящие возможность неправильной сборки элементов конструкции, что является источником риска для ВЭУ. Если конструктивными методами избежать неправильной сборки не представляется возможным, то должны быть 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, исключаящие возможность неправильного соединения элементов электрической, гидравлической, пневматической и прочих систем, когда 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 избежать всех потенциальных опасностей, связанных с использованием названных видов энергии. 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

Механизм главной коробки передач должен рассматриваться как компонент 2 класса.

Передачи должны быть спроектированы на основе соответствующих методов расчета (ГОСТ 21354-87). Прочностные характеристики материала должны быть получены согласно ГОСТ 21354-87. При расчете передач должна быть учтена их точность (производственные допуски, зазоры, смещения)

Коэффициент безопасности по контактным напряжениям  $S_H$  должен быть вычислен согласно ГОСТ 21354-87 в соответствии с подходящим методом. Для выполнения расчетов по контактной усталостной прочности должен быть использован прямой метод расчетов 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 отказа.

Коэффициент безопасности по напряжениям изгиба  $S_F$  должна быть вычислен согласно ГОСТ 21354-87. 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 для учета 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 21354-87. Расчетный коэффициент безопасности по отсутствию заедания  $S_S$  должен быть не менее 1,3.

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.

## 9.5 Система установки на ветер

Система установка на ветер может состоять из:

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

Все двигатели должны соответствовать требованиям п. 10 настоящего стандарта. Для механизма установки на ветер с несколькими двигателями,

обеспечивающими установку на ветер и гарантирующими достаточное резервирование, элементы механизмов можно отнести к компонентам 1 класса. Коэффициенты безопасности по контактным напряжениям  $S_H$  и напряжениям изгиба  $S_F$  могут быть в этом случае уменьшены до 1,1 и 1,25 соответственно. Для других случаев должен назначаться класс 2.

## 9.6 Система управления лопастями

Система управления лопастями может состоять из средств, обеспечивающих поворот лопастей (например, гидравлические приводы, электрические двигатели, коробки передач, тормоза и зубчатые колеса) и устройств, обеспечивающих возможность относительного вращения.

Любые двигатели должны соответствовать техническим требованиям п. 10. Для систем управления лопастями с индивидуальными двигателями/приводами, гарантирующими достаточное резервирование, может быть назначен 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 перевести ВЭУ в состояние парковки при выявлении предельной установленной величины износа материала для выполнения аварийной остановки.

Определение расчетных нагрузок должно быть основано на рассмотрении процессов торможения с соответствующими диапазонами изменения тормозных моментов. Если тормоз может проскальзывать 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 18854-94 и ГОСТ 18855-94. Для подшипников валов, например, главного вала, коробки передач, срок службы (с 90% вероятностью выживания) должен быть не менее 20 лет. Метод расчета должен быть основан на учете режима эксплуатации. Использование всех расчетных коэффициентов должно быть обосновано в соответствии с ГОСТ 18855-94.

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 п. 7.4 и использовать коэффициенты безопасности в соответствии с п. 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 механизме 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 18854-94. При расчете должна быть учтена податливость сопряженных деталей.

## **10 Электрическая система**

### **10.1 Основные положения**

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

Система сбора мощности в настоящем стандарте не рассматривается.

### **10.2 Общие технические требования к электрической системе ВЭУ**

При проектировании электрической системы должен быть гарантирован максимальный уровень безопасности для людей и домашнего скота. При всех нормальных и экстремальных внешних условиях, определенных в п. 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 находиться в соответствии с соответствующими стандартами Российской Федерации. Конструкция электрической системы ВЭУ должна удовлетворять требованиям ГОСТ 12.2.007.0—75. Для ВЭУ, которые имеют цепи электрического тока с номинальными напряжениями, больше чем 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока, проект электрической схемы ВЭУ должен удовлетворять требованиям ГОСТ 12.2.003-91. Стационарные электрические установки, не относящиеся к машинным, должны удовлетворять требованиям ГОСТ 30331.2-95 (МЭК 364-3-93)/ГОСТ Р 50571.2-94 (МЭК 364-3-93). 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 МЭК 60364, 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**

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

Полупроводниковые приборы не могут использоваться в качестве единственных, самостоятельных отключающих приборов и устройств.

В конструкции ВЭУ должны быть предусмотрены вспомогательные электрические схемы с независимым источником питания (система собственных нужд) и отключающим устройством для освещения, обеспечения технологических процессов и осуществления мер безопасности во время технического обслуживания или 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 12.1.030, ГОСТ 12.2.007.0 (для обеспечения правильного функционирования электрических установок) и ГОСТ 12.1.030-81 (для молниезащиты). 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) должно быть выполнено в соответствии с ГОСТ Р 50571.10 (МЭК 364-5-54—80)

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**

Защита ВЭУ от ударов молний должна быть разработана в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81. 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 или специальными укрытиями для кабеля.

## **10.8 Самовозбуждение**

Любая цепь электрической схемы ВЭУ, которая может самовозбуждаться, должна быть разомкнута и надежно удерживаться в 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 самовозбуждение, то в соответствующей документации должно быть указано, что самовозбуждение генератора возникнуть не может.

## **10.9 Защита от грозовых электромагнитных импульсов**

Защита от перенапряжения должна быть выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50571.26-2002.

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 51991-2002.

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

## **10.11 Электромагнитная совместимость**

*Электрическая система ВЭУ российского и импортного производства должна соответствовать в части электромагнитной совместимости требованиям ГОСТ Р 51317.6.1 (МЭК 61000-6-1—97), ГОСТ Р 51317.6.3 (МЭК 61000-6-3—96).*

## **11 Выбор ВЭУ по условиям соответствия площадке размещения**

### **11.1 Основные положения**

На ВЭУ воздействуют факторы внешней окружающей среды, электрические параметры сети 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, см. п. 11.2, и выполнена оценка ветрового режима площадки размещения, см. п. 11.3. Для оценки структурной целостности могут использоваться два подхода:

11.1.1 подтверждение того, что величины всех факторов, описывающих специфические условия площадки размещения, не превышают принятых для проектирования ВЭУ, см. п. 11.9;

11.1.2 подтверждение структурной целостности ВЭУ при условиях, когда каждое из упомянутых выше условий, является таким же или превосходит те, которые определены для площадки, см. п. 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 (п. 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

Сложность ландшафта определяется величиной отклонений рельефа местности от плоской поверхности. Площадка, показатели которой, превышают установленные в Таблице 4, имеет сложный ландшафт. Угол уклона аппроксимирующей плоскости, используемый в Таблице 4, обозначает уклон плоскости, которая является наилучшим приближением изменений рельефа в пределах установленного расстояния от ВЭУ и проходит через основание башни ВЭУ. В данном случае высота изменения рельефа от аппроксимирующей плоскости измеряется расстоянием, измеренным по вертикали от любой точки на поверхности ландшафта до аппроксимирующей плоскости.  $Z_{hub}$  – высота от уровня основания до оси ветроколеса ВЭУ.

Таблица 4 - Показатели сложности ландшафта

Расстояние от ВЭУ	Максимальный угол уклона аппроксимирующей плоскости	Максимальная высота изменений рельефа местности в пределах круга радиусом $1,3 Z_{hub}$ , расположенного в аппроксимирующей плоскости
$<5 Z_{hub}$	$<10^0$	$<0,3 Z_{hub}$
$<10 Z_{hub}$		$<0,6 Z_{hub}$
$<20 Z_{hub}$		$<1,2 Z_{hub}$

Разрешение поверхностной координатной сетки, используемой для оценки сложности рельефа, не должно превышать  $Z_{hub}$ .

## 11.3 Параметры ветра, определяемые в проекте

Величины, перечисленных ниже параметров ветра на площадке размещения ВЭУ, должны быть определены:

- экстремальная скорость ветра на 10 минутном интервале осреднения на высоте оси ветроколеса  $Z_{hub}$  с периодом повторяемости 50 лет;
- вероятностная функция плотности распределения скорости ветра  $p(V_{hub})$  на интервале  $V_{in} - V_{out}$ ;
- среднеквадратичное отклонение турбулентности набегающего воздушного потока  $\hat{\sigma}$  (определенное как средняя величина среднеквадратичного отклонения продольной составляющей скорости<sup>13</sup>) и среднеквадратичное отклонение  $\hat{\sigma}_\sigma$  от  $\hat{\sigma}$  на уровне оси ветроколеса в интервале  $V_{in} - V_{out}$  и при  $V_{hub}$  равной  $V_{ref}$ ;
- угол отклонения набегающего потока;
- распределение ветра<sup>14</sup>;
- плотность воздуха.

В том случае, если отсутствуют данные по плотности воздуха для рассматриваемой площадки, то надлежит руководствоваться рекомендациями

ГОСТ Р 51991-2002, с внесением соответствующих поправок для среднегодовой температуры.

Интервал для любого бина скорости ветра, используемого для определения вышеупомянутых величин, должен быть не более 2 м/с, и угол сектора направления ветра должен быть не более 30°. Все параметры должны иметь интервал осреднения 10 мин, кроме плотности воздуха, и быть сгруппированы по направлениям ветра.

Параметры<sup>15</sup> ветра на площадке должны быть также:

- измерены в диапазоне от 0,2  $V_{ref}$  до 0,4  $V_{ref}$  и экстраполированы, или
- вычислены на основе результатов данных длительных измерений, проведенных установленными на площадке метеорологическими станциями, государственными метеорологическими станциями или данных государственного ветрового кадастра.

<sup>13</sup> Примечание: Продольная составляющая может быть аппроксимирована горизонтальной составляющей.

<sup>14</sup> Примечание: Высокие величины распределения для расширенных периодов времени были установлены для некоторых зон в соответствии очень большим расслоением воздушного потока или существенными изменениями шероховатости поверхности. Условия внешней окружающей среды в п. 6 не предполагают учета данных случаев.

<sup>15</sup> Примечание: Необходимо уделить особое внимание эффектам затенения конструкциями большого размера, располагающимися от ВЭУ, на расстоянии менее 20-кратной номинальной высоты конструкции

Если используются результаты измерений, то параметры ветра на площадке размещения должны быть откорректированы с учетом доступных долговременных данных обычных местных метеорологических станций. Для площадок, находящихся в зонах с ярко выраженными годовыми сезонными климатическими изменениями, период мониторинга, обеспечивающий надежность данных, должен быть не менее 1 года и включать все сезоны. Для площадок без яркой выраженности сезонных изменений необходимо осуществлять мониторинг не менее 6 месяцев.

Величина среднеквадратичного отклонения продольной составляющей скорости ветра должна быть определена соответствующими статистическими методами, подходящими для измеренных данных и, предпочтительно, для данных с исключенным трендом. Для площадок, где топографические или другие местные факторы могут влиять на интенсивность турбулентности, эти факторы должны быть отражены в данных. Характеристики анемометра, интервалы замеров и время усреднения, используемые для получения измеренных данных, должны быть приняты во внимание при оценке интенсивности турбулентности.

#### **11.4 Оценка влияния эффекта «затенения» соседними ВЭУ**

Эффекты затенения, вызванные влиянием расположенных рядом ВЭУ на процесс выработки электроэнергии и силовое нагружение, должны быть



рассмотрены. При проведении проектных расчетов ветроэлектростанции и выборе ВЭУ для конкретной площадки, следует принять во внимание детерминированные и турбулентные характеристики воздушного потока, вызванные затенением одной или многими ВЭУ, которые расположены выше по 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 спутной струи, может быть определено при помощи эффективной интенсивности турбулентности, которая должна включать соответствующее отображение результата нагружения фоновой турбулентностью и воздействием спутной струи.

Для выполнения расчетов на усталостную прочность, эффективная интенсивность турбулентности  $I_{eff}$  может быть получена в соответствии с Приложением D.

Для определения предельных нагрузок  $I_{eff}$  может быть принята равной максимальной величине интенсивности турбулентности, вызванной спутными струями всех соседних ВЭУ как определено в Приложении D.

$$I_{eff} = \frac{1}{V_{hub}} \max\{\hat{\sigma}_T\} \quad (33)$$

Следует отметить, что надежность рассмотренных моделей при расстояниях между ВЭУ, менее чем 3 диаметра ветроколеса, точно не известна, поэтому следует проявить осторожность.

### 11.5 Оценка прочих параметров окружающей среды

Следующие параметры окружающей среды должны быть оценены для сравнения с принятыми при проектировании ВЭУ:

- 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 по сейсмической устойчивости не формулируются, потому что такие события характерны для незначительного количества районов в мире. Выполнение расчетов на сейсмическую устойчивость не требуется для районов с низкой сейсмической активностью в соответствии со СНиП [1]. Для районов, где сейсмические нагрузки, описанные ниже, являются критическими, должны быть выполнены расчеты, подтверждающие структурную

целостность ВЭУ при условиях, соответствующих площадке размещения. Оценка может быть основана 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 СНиП [1].

Оценка сейсмической устойчивости может быть выполнена в соответствии с методикой, изложенной ниже.

Ускорение земли должно быть определено для 475-летнего периода повторяемости.

Сейсмическое нагружение, должно быть сопоставлено с нагружением в процессе эксплуатации, которое должно быть больше или равно:

11.6.1 средним в течение срока службы нагрузкам при производстве электроэнергии;

11.6.2 нагрузкам при аварийном выключении на скорости ветра, выбранной таким образом, чтобы нагрузки, предшествовавшие выключению, были равны тем, которые указаны в случае 1.

Парциальный коэффициент безопасности по нагрузкам для всех нагруженных элементов должен быть равен 1,0.

Оценка сейсмической нагрузки может быть выполнена методом доминантной частоты, в этом случае рабочие нагрузки непосредственно добавляются к сейсмическим.

Расчет сейсмических нагрузок может быть выполнен методом спектрально-временных моделей. В этом случае должно быть рассмотрено достаточное 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.

Оценка сейсмической устойчивости конструкции может допускать только упругую реакцию или вязкое рассеяние энергии. Важно, чтобы последний параметр был оценен правильно для примененного типа конструкции, в особенности для конструкций в виде решетки и выполненных с помощью болтовых соединений.

Консервативный метод вычислений и комбинирования нагрузок,

действующих на башню, приведен в Приложении С. Этот метод не должен использоваться, если сейсмические воздействия могут вызвать существенное нагружение конструкций помимо башни.

### 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<sup>16</sup>:

- номинальное напряжение и диапазон колебаний, включая условия, при которых ВЭУ остается подключенной/отключенной от сети, на основе установленного номинального диапазона напряжения и продолжительности;
- номинальная частота, диапазон колебаний и темпы изменения, включая условия, при которых ВЭУ остается подключенной/отключенной 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/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, 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.

<sup>16</sup> Примечание: При проектировании ВЭУ может возникнуть необходимость выполнить условия совместимости с сетью подключения. Требования по совместимости с сетью подключения, на основе требований стандартов РФ и местные условия должны быть предусмотрены на стадии проектирования.

## 11.8 Инженерно-геологические и инженерно-геодезические изыскания

Свойства грунтов на предполагаемой площадке должны быть определены в результате инженерных изысканий квалифицированным персоналом в соответствии с существующими нормативными документами (СНиП [3], ведомственными строительными нормами [4], [5], [6]).

## 11.9 Оценка структурной целостности ВЭУ на основе данных измерения параметров ветра

Оценка структурной целостности ВЭУ может быть выполнена сравнением величин параметров ветра для участка размещения ВЭУ с параметрами, использованными при проектировании ВЭУ. Критерием выбора ВЭУ для предполагаемой площадки является удовлетворение перечисленным ниже условиям:

- экстремальная средняя скорость ветра, с периодом повторяемости 50 лет, измеренная на площадке, на высоте оси ветроколеса в течение 10 минут, должна быть меньше, чем  $V_{ref}^{17}$  ;

- полученная в результате измерений на площадке функция плотности вероятности  $V_{hub}$  должна быть меньше, чем проектная величина функции плотности вероятности (см. п. 6.3.1.1) для всех значений  $V_{hub}$  в интервале от  $0,2 V_{ref}$  до  $0,4 V_{ref}$ ;

- нормативная величина среднеквадратичного отклонения турбулентности  $\sigma_1$  (см. уравнение (11)) должна быть больше или равна величине, определенной для площадки размещения, приблизительно для 90%-ого квантиля среднеквадратичного отклонения турбулентности для всех величин скорости ветра  $V_{hub}$  в интервале от  $0,2 V_{ref}$  до  $0,4 V_{ref}$  и

$$\sigma_1 \geq \hat{\sigma} + 1,28\hat{\sigma}_\sigma \quad (34)$$

Для сложного ландшафта, оценка нормативной величины среднеквадратичного отклонения продольной составляющей турбулентности должна быть увеличена, чтобы учесть влияние турбулентности, обусловленной сложным рельефом<sup>18</sup>. Отклонение воздушного потока на площадке, должно соответствовать максимальной величине отклонения, из всех возможных для рассматриваемой площадки, и должно быть меньше, чем определенное в п. 6.3. В том случае если отсутствуют данные или расчеты для отклонения воздушного потока на площадке со сложным рельефом, то следует предположить, что воздушный поток всегда параллелен аппроксимирующей плоскости, см. п. 11.2, в пределах расстояния от ВЭУ, равного  $5 Z_{hub}$ .

Показатель степени кривой, описывающей распределение средней скорости ветра по вертикали,  $a$ , должен быть меньше, чем определенный в п. 6.3.1.2, и больше, чем нуль. Если данные для рассматриваемой площадки отсутствуют, то

распределение ветра может быть получено с учетом топографии и класса шероховатости поверхности.

Средняя плотность воздуха на площадке должна быть меньше, чем определенная для скоростей ветра, больших или равных  $V_r$  (п. 6.4.1).

Соответствующая оценка влияния спутной струи может быть выполнена проверкой условия того, что нормативное среднеквадратичное отклонение турбулентности  $\sigma_1$  в модели нормальной турбулентности больше или равно 90%-ому квантилю среднеквадратичного отклонения турбулентности (включая, как фоновую турбулентность окружающей среды, так и влияние спутной струи) в интервале от  $0,2 V_{ref}$  до  $0,4 V_{ref}$ .

Для случая, когда характеристики ВЭУ известны, то расчет ведется для интервала  $0,6V_r$  и  $V_{out}$ :

$$\sigma_1 \geq I_{eff} \cdot V_{hub} + 1,28\hat{\sigma}_\sigma \quad (35)$$

где  $I_{eff}$  для расчетов по усталостным и предельным нагрузкам должна быть принята в соответствии с п. 11.4.

<sup>17</sup> Примечание: В качестве альтернативы, оценка для ВЭУ центральной экстремальной величины средней скорости ветра (с периодом осреднения 3 секунды) на высоте оси ветроколеса с периодом повторяемости 50 лет должна быть меньше, чем  $V_{e50}$

<sup>18</sup> Примечание: Влияние сложного ландшафта на турбулентность может быть учтено дополнительным корректирующим множителем  $C_{CT}$ , который определяется выражением:

$$C_{CT} = \frac{\sqrt{1 + (\hat{\sigma}_2 / \hat{\sigma}_1)^2 + (\hat{\sigma}_3 / \hat{\sigma}_1)^2}}{1,375},$$

где отношения  $\hat{\sigma}_i$  соответствуют оси ветроколеса. В том случае, когда для площадки со сложным рельефом отсутствуют данные измерений, могут быть использованы результаты моделирования или  $C_{CT} = 1,15$ .

### **11.10 Оценка 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, при сравнении с характеристиками, заложенными 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 спутной струи и прочие факторы.

Если данные для определения составляющих турбулентности, вызванные сложным ландшафтом, отсутствуют, то рекомендуется величины продольной,

боковой и восходящей составляющих стандартных среднеквадратичных отклонений турбулентности принять равными по величине.

При наличии воздействия спутной струи должна быть выполнена проверка структурной целостности ВЭУ для ПСН 1.1 и 1.2, в которых  $\sigma_1$  в модели нормальной турбулентности заменена фактической турбулентностью от спутной струи. Это может быть определено в соответствии с выражением:

$$\sigma_{wake} = I_{eff} V_{hub} + 1,28\hat{\sigma}_{\sigma} \quad (36)$$

где  $I_{eff}$  для расчетов по усталостным и предельным нагрузкам должна быть принята в соответствии с п. 11.4.

Для расчетов по усталостной прочности  $I_{eff}$  в соответствии с Приложением D, зависит от показателя степени  $m$  кривой Веллера для материала, из которого изготовлен рассматриваемый элемент. Нагрузки, действующие на элементы конструкции с другими свойствами материалов, должны быть или пересчитаны или оценены с учетом соответствующей величины  $m$ .

Для вычислений предельных нагрузок допускается принять во внимание частоту возникновения ситуаций воздействия спутной струи и соответствующим образом изменить экстраполяцию нагрузок в ПСН 1.1.

## **12 Сборка, установка и монтаж**

### **12.1 Основные положения**

*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 быть выполнена специально обученным, квалифицированным персоналом.

Транспортирование, установка, сборка, монтаж должны производиться в 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.

Все работники, занятые на верхолазных работах и в работах на высоте, находясь над уровнем земли или воды, должны быть специально обучены и аттестованы для выполнения данных работ и должны использовать ремни безопасности, устройства безопасности для выполнения верхолазных работ, прочие приспособления и приборы безопасности 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 СНиП [8].*

Все оборудование должно содержаться в исправном состоянии и соответствовать выполнению требуемых задач. Краны, лебедки, прочее подъемное оборудование и его 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. Также должно быть проведено обследование для проверки правильности работы системы смазки и предпусковое освидетельствование всех элементов конструкции.

В документации необходимо отразить инструкции для персонала на случай возможного возникновения града, грозы, сильного ветра, землетрясения, обледенения и аналогичных ситуаций.

Для предотвращения возникновения в башне, стоящей без гондолы, поперечных колебаний под действием высокой скорости ветра и турбулентности, должны быть предусмотрены соответствующие средства и даны инструкции. Экстремальные скорости ветра и меры предосторожности должны быть отражены в руководстве по установке.

## 12.2 Планирование

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

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;
- правила обеспечения гарантированного качества работ.

В руководстве по строительству и монтажу ВЭУ с горизонтальной осью вращения должны быть предусмотрены меры, исключающие возможность возникновения поперечных колебаний в возведенной башне без смонтированной гондолы.

## 12.3 Требования к площадке при установке

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

## 12.4 Транспортирование 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. При разработке требований к транспортированию должны быть учтены следующие факторы:

- особенность дорожного движения;
- состояние и вид дорожного покрытия;



- дорожная ширина и просвет;
- несущая способность дорожного покрытия и грунта,
- перемещение оборудования в пределах строительной площадки.

## 12.5 Параметры окружающей среды

Проектировщик должен указать максимально допустимые параметры окружающей среды для осуществления транспортировки, установки, монтажа. Должны быть даны инструкции на случай возникновения экстремальных ситуаций, характерных для территории строительства ВЭУ и учитывающих:

- скорость ветра;
- снегопад и гололед;
- температуру окружающей среды;
- предельную дальность видимости;
- песчаная буря;
- гроза;
- 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 2.102-68 ЕСКД.*

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. В 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 в 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 руководства 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, лебёдкам и прочему подъёмному и транспортному оборудованию, в том числе ко всем стропам, крюкам и другим инструментам, требующимся для безопасного подъёма.*
- *чертежи, схемы строповки со специальными приспособлениями с указанием точек для строповки;*

*На поднимаемых узлах и деталях должны быть чётко обозначены конкретные 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 ВЭУ в пределах площадки должно осуществляться с полным соблюдением требований к оборудованию и технологии, установленной производителем оборудования.

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

Все промежуточные сборочные операции рекомендуется выполнять на площадках соответствующего 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 выполнить 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 разработанные 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

В 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.

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 *в соответствии с Правилами [7]*

## **13 Ввод в эксплуатацию, эксплуатация и техническое обслуживание**

### **13.1 Основные положения**

В руководстве по эксплуатации и техническому обслуживанию должны быть подробно изложены операции по вводу в эксплуатацию, эксплуатации, техническим осмотрам и техническому обслуживанию ВЭУ с соблюдением норм ССБТ.

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

Требования п. 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 одобренные 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. В процессе выполнения перечисленных видов работ персонал должен использовать соответствующие привязные ремни или другие устройства безопасности.

В случае выполнения работ над поверхностью воды необходимости 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/съёмными. Ограждения подвижных и вращающихся элементов конструкции, осматриваемых редко, должны быть надёжно 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 ВЭУ 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;
- средства обеспечения безопасного функционирования и эксплуатации спасательных тросов, привязных ремней безопасности или других одобренных 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 так же устройства для безопасной разблокировки;

• *сигнальные знаки и знаки безопасности в соответствии с ГОСТ Р 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 ветроколеса, лопасть) должен быть обеспечен средствами индивидуальной безопасности, гарантирующими незамедлительное информирование лиц, осуществляющих страховку, в случае возникновения опасной ситуации, и незамедлительного начала 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.

#### **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 вводу в эксплуатацию, регулированию параметров и полученные результаты должны быть внесены в 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 установлены 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

Руководство по эксплуатации является обязательным документом, входящим в комплект поставки оборудования. Руководство по эксплуатации должно быть дополнено информацией о специфических местных особенностях, выявленных к моменту ввода в эксплуатацию.

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

Данный документ должен содержать:

- перечень требований, которые должны выполняться в процессе эксплуатации специально обученным и подготовленным персоналом;
- описание области устойчивой работы систем и интервалы соответствующих параметров;
  - процедуры нормального включения и выключения;
  - перечень возможных аварийных ситуаций;
  - порядок действий в аварийных ситуациях;
  - *действия персонала при пожаре;*
  - *сведения по утилизации изделия и его составных частей;*
  - установленные требования в отношении обязательности:
    - 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);
    - 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;

▪ обеспечения присутствия плавучих спасательных средств в случае выполнения работ на/над поверхностью воды;

▪ 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 ВЭУ, 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, технического обслуживания, текущего ремонта, хранения и транспортирования оборудования;
- порядок действий при плохой погоде;
- процедуры по поддержанию связи и порядок действий в аварийных ситуациях.

#### **13.4.6 Порядок действий в аварийных ситуациях.**

При проектировании ВЭУ должны быть учтены аварийные ситуации, возникновение которых возможно в процессе эксплуатации, а их описание и порядок действий персонала изложены в руководстве по эксплуатации.

В руководстве должно содержаться требование, запрещающее персоналу приближаться к ВЭУ, 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 ветроколеса;
- 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 обслуживанию. 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 материалов и изнашиваемых деталей и установлены критерии их замены.

В 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 техническому обслуживанию ВЭУ;
- описание конструкции ВЭУ и ее составных частей, принципа действия оборудования, характеристики;
- график проведения смазочных работ, предписывающий частоту смазывания, виды смазок или других специальных жидкостей, критерии замены смазки;
- *критерии оценки технического состояния оборудования при определении необходимости отправки его в ремонт*, процедуры повторной приемки;
- графики технических осмотров и описание выполняемых работ;
- процедуры контроля работоспособности систем защиты и управления;
- полная электрическая схема и схема межэлементных соединений;
- графики осмотра и подтяжки растяжек и болтовых соединений, графики проверки контролируемых ответственных резьбовых соединений, включая контроль осевого растяжения и момента в резьбе;
- 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;

#### **14 Охрана окружающей среды**

*Экологическая безопасность ВЭУ должна быть обеспечена на этапе предпроектных исследований и в течение всего жизненного цикла ВЭУ (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 радаров);
- воздействие на флору и фауну;
- ландшафтное загрязнение.

Допустимые уровни шума на территории жилой застройки не должны превышать допустимых показателей согласно требованиям Федерального закона «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения».

Примечание. В соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей природной среды» в составе проекта ВЭУ должен быть раздел «Охрана окружающей среды».

Раздел «Охрана окружающей среды» в соответствии с Федеральными законами «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» и «Об охране окружающей природной среды» 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 в период ликвидации объекта.

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

Примечание. П 15 введен в соответствии с требованиями технических регламентов.

## 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 оси ветроколеса $V_{in} - V_{out}$	(м/с)
Проектный срок службы	(год)

#### Параметры ветра

Характеристика интенсивности турбулентности как функция средней скорости ветра для НМТ и ЭМТ

Среднегодовая скорость ветра	(м/с)
Усредненный угол наклона набегающего потока	( $^{\circ}$ )

Распределение скорости ветра  
(Вейбулл, Рэлей, измерения, другой), модель профиля

Модель профиля ветра и параметры

Модель турбулентности и параметры

Экстремальные скорости ветра на уровне оси ветроколеса $V_{e1}$ и $V_{e50}$	(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

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 ( $^{\circ}$ С)

Относительная влажность воздуха (%)

Плотность воздуха (кг/м<sup>3</sup>)

Солнечная радиация (Вт/м<sup>2</sup>)

Дождь, град, снег и гололед

Химически активные вещества в атмосфере

Запыленность атмосферы (механические частицы)

Описание системы молниезащиты

Модель землетрясения и параметры

Соляной туман (г/м<sup>3</sup>)

## Приложение В

(справочное)

### Модели турбулентности

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

- 1) модель однородного сдвига Манна и
- 2) спектральная и экспоненциальная когерентная модель Каймала.

Параметры для данных моделей были выбраны с учетом удовлетворения основным требованиям турбулентности, данным в п.6.3.

#### В.1 Модель однородного сдвига Манна (1994)

Описание этой модели несколько отличается от предыдущих моделей тем, что здесь определен трехмерный спектральный тензор скорости. Модель предполагает, что изотропный спектр энергии фон-Кармана быстро искажается однородным сдвигом средней скорости. Спектральные компоненты тензора выражаются:

$$\Phi_{11}(k_1, k_2, k_3) = \frac{E(k_0)}{4\pi k_0^4} (k_0^2 - k_1^2 - 2k_1(k_3 + \beta(k)k_1))\zeta_1 + (k_1 + k_2^2)\zeta_1^2 \quad (\text{B.1})$$

$$\Phi_{22}(k_1, k_2, k_3) = \frac{E(k_0)}{4\pi k_0^4} (k_0^2 - k_2^2 - 2k_2(k_3 + \beta(k)k_1))\zeta_2 + (k_1 + k_2^2)\zeta_2^2 \quad (\text{B.2})$$

$$\Phi_{33}(k_1, k_2, k_3) = \frac{E(k_0)}{4\pi k_0^4} (k_1^2 + k_2^2) \quad (\text{B.3})$$

$$\Phi_{12}(k_1, k_2, k_3) = \frac{E(k_0)}{4\pi k_0^4} \left( -k_1 k_2 - k_1(k_3 + \beta(k)k_1)\zeta_2 - k_2(k_3 + \beta(k)k_1)\zeta_1 + (k_1^2 + k_2^2)\zeta_1 \zeta_2 \right) \quad (\text{B.4})$$

$$\Phi_{13}(k_1, k_2, k_3) = \frac{E(k_0)}{4\pi k_0^2 k^2} \left( -k_1(k_3 + \beta(k)k_1) + (k_1^2 + k_2^2)\zeta_1 \right) \quad (\text{B.5})$$

$$\Phi_{23}(k_1, k_2, k_3) = \frac{E(k_0)}{4\pi k_0^2 k^2} \left( -k_2(k_3 + \beta(k)k_1) + (k_1^2 + k_2^2)\zeta_2 \right) \quad (\text{B.6})$$

где

$$\Phi_{ij}(k_1, k_2, k_3) = \Phi_{ji}^*(k_1, k_2, k_3) = \frac{1}{8\pi^3} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} R_{ij}(\delta_1, \delta_2, \delta_3) e^{-ik_1\delta_1} e^{-ik_2\delta_2} e^{-ik_3\delta_3} d\delta_1 d\delta_2 d\delta_3,$$

$$R_{ij}(\delta_1, \delta_2, \delta_3) = \frac{1}{\sigma_{iso}^2} E \langle u_i(x_1, x_2, x_3) u_j(x_1 + l\delta_1, x_2 + l\delta_2, x_3 + l\delta_3) \rangle,$$

безразмерный тензор корреляции;

$u_1, u_2, u_3$  - продольная, боковая и восходящая составляющие скорости ветра

соответственно;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$  - безразмерные пространственные разделения компонент вектора;

$k_1, k_2, k_3$  - безразмерные пространственные волновые числа для трех компонент направления;

$k = \sqrt{k_1^2 + k_2^2 + k_3^2}$  - величина безразмерного вектора волнового числа;

$k_0 = \sqrt{k^2 + 2\beta(k)k_1k_3 + (\beta(k)k_1)^2}$ , - величина до искажения сдвигом;

$$\zeta_1 = C_1 - \frac{k_2}{k_1} C_2, \quad \zeta_2 = \frac{k_2}{k_1} C_1 + C_2,$$

$$C_1 = \frac{\beta(k)k_1^2(k_1^2 + k_2^2 - k_3(k_3 + \beta(k)k_1))}{k^2(k_1^2 + k_2^2)},$$

$$C_2 = \frac{k_2^2 k_0^2}{(k_1^2 + k_2^2)^{3/2}} \arctan\left(\frac{\beta(k)k_1\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}{k_0^2 - (k_3 + \beta(k)k_1)k_1\beta(k)}\right),$$

$E(k) = \frac{1,453k^4}{(1+k^2)^{17/6}}$ , безразмерный изотропный спектр энергии фон-Кармана;

$\beta(k) = \frac{\gamma}{k^{2/3} \sqrt{{}_2F_1\left(\frac{1}{3}, \frac{17}{6}, \frac{4}{3}, -k^{-2}\right)}}$  - безразмерное время искажения, обратно

пропорциональное  $\sqrt{k^2 \int_k^\infty E(p) dp}$ ,

${}_2F_1$  - гипергеометрическая функция

$\sigma_{iso}^2, l$ , изотропная дисперсия и масштабный параметр без сдвига соответственно, и

$\gamma$  - безразмерный параметр искажения сдвигом.

Данная модель является более сложной, чем изотропная модель фон Кармана, однако она содержит только один дополнительный параметр искажения сдвигом  $\gamma$ . Когда  $\gamma=0$ , вновь получается изотропная модель. Когда  $\gamma$  возрастает, продольная и поперечная дисперсии скорости возрастают, в то время как восходящая компонента дисперсии скорости уменьшается. Результирующая турбулентная вихревая структура растягивается в продольном направлении и наклоняется относительно плоскости 1-2.

Предполагая, что поле случайных скоростей, генерируемое моделью, переносится через ветроколесо при скорости ветра, определенной на оси ветроколеса, спектр компоненты скорости, наблюдаемый в точке, может быть получен интегрированием компонент спектрального тензора. В частности, безразмерный, односторонний спектр дается выражением

$$\frac{fS_i(f)}{\sigma_1^2} = \frac{\sigma_{iso}^2}{\sigma_i^2} \left(\frac{4\pi f}{V_{hub}}\right) \Psi_{ij} \left(\frac{2\pi f}{V_{hub}}\right), \quad (B.7)$$

где

$\Psi_{ij}(k_1) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_{ij}(k_1, k_2, k_3) dk_2 dk_3$  - одномерный автоспектр волнового числа для  $i=j$ , или взаимной спектральности, для  $i \neq j$

$\sigma_i^2 = \sigma_{iso}^2 \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_{ij}(k_1, k_2, k_3) dk_1 dk_2 dk_3$  - составляющие дисперсии.

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

$$Coh_{ij}(f, l\delta_2, l\delta_3) = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_{ij} \left( \frac{2\pi l f}{V_{hub}}, k_2, k_3 \right) e^{-ik_2 \delta_2} e^{-ik_3 \delta_3} dk_2 dk_3 \right|}{\sqrt{\Psi_{ii} \left( \frac{2\pi l f}{V_{hub}} \right) \Psi_{jj} \left( \frac{2\pi l f}{V_{hub}} \right)}}, \quad (B.8)$$

К сожалению, результирующие интегралы не выражаются в аналитическом виде и должны браться численно для специальных значений параметра  $\gamma$ . Манн (1998) выполнил такое интегрирование и сравнил результаты со спектральной моделью Каймала. Наименьшие квадраты, удовлетворяющие модели Каймала, дали параметр сдвига

$$\gamma = 3,9 \quad (B.9)$$

с результирующими соотношениями для дисперсии

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1^2 &= 3,25 \sigma_{iso}^2 \\ \sigma_2^2 &= 1,65 \sigma_{iso}^2 \\ \sigma_3^2 &= 0,85 \sigma_{iso}^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_2}{\sigma_1} \approx 0,7 \\ \frac{\sigma_3}{\sigma_1} \approx 0,5 \end{cases} \quad (B.10)$$

Следует отметить, что результирующая поперечная дисперсия немного меньше, чем в Таблице В.1.

Масштабный параметр может быть найден приравниванием асимптотике инерционной подобласти продольного спектра. Отсюда:

$$S_1(f) \rightarrow 0,475 \sigma_{iso}^2 \left( \frac{2\pi l}{V_{hub}} \right)^{2/3} f^{-5/3} = 0,05 \sigma_1^2 \left( \frac{\Lambda_1}{V_{hub}} \right)^{-2/3} f^{-5/3} \Rightarrow l \approx 0,8 \Lambda_1 \quad (B.11)$$

В результате, три параметра, необходимые для модели Манна, получены:

$$\begin{aligned} \gamma &= 3,9 \\ \sigma_{iso} &= 0,55 \sigma_1 \\ l &= 0,8 \Lambda_1 \end{aligned} \quad (B.12)$$

где  $\sigma_1$  и  $\Lambda_1$  определены в п. 6.3.

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

$$\begin{bmatrix} u_1(x, y, z) \\ u_2(x, y, z) \\ u_3(x, y, z) \end{bmatrix} = \sum_{k_1, k_2, k_3} e^{i \frac{xk_1 + yk_2 + zk_3}{l}} [C(k_1, k_2, k_3)] \begin{bmatrix} n_1(k_1, k_2, k_3) \\ n_2(k_1, k_2, k_3) \\ n_3(k_1, k_2, k_3) \end{bmatrix} \quad (\text{B.13})$$

где

$$[C(k_1, k_2, k_3)] \approx \sigma_{iso} \sqrt{\frac{2\pi l^3 E(k_0)}{N_1 N_2 N_3 \Delta^3 k_0^4}} \begin{bmatrix} k_2 \zeta_1 & k_3 - k_1 \zeta_1 + \beta k_1 & -k_2 \\ k_2 \zeta_2 - k_3 - \beta k_1 & -k_1 \zeta_2 & k_1 \\ \frac{k_0^2 k_2}{k^2} & -\frac{k_0^2 k_1}{k^2} & 0 \end{bmatrix}$$

$u_1, u_2, u_3$  - компоненты комплексного вектора, действительные и мнимые части которых представляют независимые реализации поля турбулентных скоростей  
 $n_1, n_2, n_3$  - комплексные случайные гауссовские величины, которые являются независимыми для каждого отдельного волнового числа и имеющие действительную и мнимую части с дисперсией модуля,  
 $x, y, z$  - координаты точек пространственной сети координат,  
 $N_1, N_2, N_3$  - число точек в пространственной сети координат в трех направлениях, и  
 $\Delta$  - разрешение пространственной сети.

В этом выражении, обозначение  $\sum_{k_1, k_2, k_3}$  - означает суммирование по всем безразмерным волновым числам в сети и может быть выполнено методом Фурье (FFT).

В тех случаях, когда пространственная область меньше, чем  $\delta l$  в любом измерении, рекомендуется выполнить корректировку для разложения спектрального тензора  $[C(k_1, k_2, k_3)]$ . Эта процедура подробно изложена Манном (1998).

## **В.2 Спектральная и экспоненциальная когерентные модели Каймала (1972)<sup>19</sup>**

Спектральные плотности мощности составляющих даются в безразмерном виде уравнением:

$$\frac{f S_k(f)}{\sigma_k^2} = \frac{4f L_k / V_{hub}}{(1 + 6f L_k / V_{hub})^{5/3}}, \quad (\text{B.14})$$

где

$f$  - частота в Гц;

$k$  - индекс, указывающий направление составляющей вектора скорости (1 - продольная, 2 - боковая, 3 - восходящая);

$S_k$  - односторонний спектр составляющей вектора скорости;

$\sigma_k$  - среднеквадратичное отклонение составляющей вектора скорости (см. формулу (B.2));

$L_k$  - интегральный масштабный параметр составляющей вектора скорости;



$$\sigma_k^2 = \int_0^{\infty} S_k(f) df \quad (B.15)$$

Спектральные параметры турбулентности даны в таблице В.1.

<sup>19</sup> Примечание. Дисперсионные отношения для составляющих турбулентности в Табл. В.1 и в выражении для восходящей составляющей скорости несколько отличаются от оригинальной спектральной модели Каймала. Продольный масштаб (а также поперечный и восходящий) был выбран для аппроксимации оригинального спектра Каймала, чтобы удовлетворить требованиям к спектру, установленным в п. 6.3, для асимптотического инерциального поддиапазона и дисперсионных отношений, данных в Табл. В.1

Таблица В.1

**Спектральные параметры турбулентности для модели Каймала**

	Индекс составляющей вектора скорости		
	1	2	3
Среднее квадратичное отклонение составляющей вектора скорости $\sigma_k$	$\sigma_1$	$0,8 \sigma_1$	$0,5 \sigma_1$
интегральный масштабный параметр составляющей вектора скорости $L_k$	$8,1 \Lambda_1$	$2,7 \Lambda_1$	$0,66 \Lambda_1$

Где  $\sigma_1$  и  $\Lambda_1$  - среднее квадратичное отклонение и масштабный параметр турбулентности соответственно, установленные в настоящем стандарте.

**Экспоненциальная когерентная модель**

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

$$\text{Coh}(r, f) = \exp \left[ -8,8 \left( (f \times r / V_{\text{hub}})^2 + (0,12 r / L_c)^2 \right)^{0,5} \right] \quad (B.3)$$

где

$\text{Coh}(r, f)$  - функция когерентности, определенная совокупной величиной взаимной спектральной плотности продольных составляющих вектора скорости в двух пространственно удаленных точках, разделенных автоспектральной функцией;

$r$  - величина проекции вектора разделения между двумя точками на плоскость, перпендикулярную направлению вектора средней скорости ветра;

$f$  - частота, Гц;

$L_c = 8,1 \Lambda_1$  - масштабный параметр когерентности.

### **В.3 Справочная литература**

J.C. Kaimal, J.C. Wyngaard, Y. Izumi, and O.R. Cote, Spectral characteristics of surface-layer turbulence, Q.J.R. Meteorol. Soc., v. 98, 1972, pp. 563-598 .

T. von Karman, Progress in the statistical theory of turbulence, Proc. Nat. Acad. Sci, v. 34, 1948, pp. 530-539.

J. Mann, The spatial structure of neutral atmospheric surface-layer turbulence, J. of Fluid Mech., v. 273, 1994, pp. 141-168.

J. Mann, Wind field simulation, Prob. Engng. Mech., v. 13, n. 4, 1998, pp. 269-282.

## Приложение С

(справочное)

### Расчет сейсмических нагрузок

Упрощенный, консервативный метод расчета сейсмических нагрузок, представленный в данном приложении, рекомендуется применять в тех случаях, когда 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, включает также массу башни и к этой же точке прикладывается недиссипативная аэродинамическая нагрузка.

Метод определения ускорений основания должен также соответствовать п. 11.6. При отсутствии точных данных для рассматриваемой площадки, должны быть сделаны консервативные предположения. В данном приложении использована терминология СНиП [1].

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 % критического демпфирования.*

- *Вычисление нагрузки для системы, испытывающей вышеупомянутое ускорение, если масса ветроколеса, 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 дальнейших расчетов не требуется. В противном случае, должны быть выполнены расчеты согласно п.11.6.*

## Приложение D (справочное)

### Оценка влияния спутной струи и турбулентности на площадках ВЭС D.1 Влияние спутной струи

При вычислении усталостных нагрузок, возникающих в процессе нормальной эксплуатации ВЭУ, следует принять во внимание воздействие спутных струй от соседних ВЭУ. Данное воздействие может быть учтено с помощью эффективной интенсивности турбулентности  $I_{eff}$ , предложенной Франдсеном (2003). Эффективная интенсивность турбулентности, обусловленная средней скоростью ветра на высоте оси ветроколеса, может быть выражена

$$I_{eff}(V_{hub}) = \left\{ \int_0^{2\pi} p(\Theta|V_{hub}) I^m(\Theta|V_{hub}) d\Theta \right\}^{\frac{1}{m}}, \quad (D.1)$$

где

$p$  - функция плотности вероятности направления ветра;

$I$  - интенсивность турбулентности, сочетающая движение воздушного потока окружающей среды и спутной струи в направлении ветра  $\Theta$  и

$m$  - показатель степени кривой усталости Веллера для рассматриваемого материала (SN-кривая).

В дальнейшем рассмотрении принимается однородное распределение  $p(\Theta|V_{hub})$ . Приведенные формулы можно также откорректировать для неоднородных распределений<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> Примечание. В случае неоднородного закона распределения направления скорости, функция  $p_w$  может быть откорректирована коэффициентом, равным отношению существующей вероятности направления ветра (в направлении соседних ВЭУ) к вероятности, соответствующей однородному распределению направления ветра.

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

$$\text{если } \min\{d_i\} \geq 10D, \quad (D.2)$$

$$\text{то } I_{eff} = \frac{\hat{\sigma}}{V_{hub}};$$

$$\text{если } \min\{d_i\} < 10D,$$

$$\text{то } I_{eff} = \frac{\hat{\sigma}_{eff}}{V_{hub}} = \frac{1}{V_{hub}} \left[ (1 - Np_w) \hat{\sigma}^m + p_w \sum_{i=1}^N \hat{\sigma}_T^m(d_i) \right]^{\frac{1}{m}}; \quad p_w = 0,06, \quad (D.3)$$

где

$\hat{\sigma}$  - предполагаемая дисперсия турбулентности воздушного потока окружающей среды;

$$\hat{\sigma}_T = \sqrt{\frac{0,9V_{hub}^2}{(1,5 + 0,3d_i\sqrt{V_{hub}/c})^2}} + \hat{\sigma}^2 \quad - \text{максимальная дисперсия турбулентности в}$$

центре спутной струи на оси ветроколеса;

$d_i$  - расстояние от рассматриваемой ВЭУ до соседней ВЭУ с номером  $i$ , выраженное в диаметрах ветроколеса;

$c$  – константа, равная 1 м/с;

$I_{eff}$  - эффективная интенсивность турбулентности;

$N$  - число соседних ВЭУ, и

$m$  - показатель степени кривой усталости Веллера для материала рассматриваемого элемента конструкции.

Влияние спутных струй от ВЭУ, «спрятанных» за другими установками, не следует рассматривать, например, для ВЭУ, расположенных в ряд. В этом случае должно быть учтено влияние только двух установок, самых близких к рассматриваемой машине. Число самых близких ВЭУ, которые должны быть включены в расчет  $I_{eff}$ , дается в приведенной ниже таблице в зависимости от конфигурации размещения ветроустановок.

Конфигурация размещения ветроустановок на площадке, с числом рядов более 2, приведена на Рис. D.1

Конфигурация размещения ветроустановок	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 генерации ими собственной турбулентности окружающей среды. Таким образом, когда

а) число ВЭУ от рассматриваемой установки до "края" площадки - больше чем 5, или

б) расстояние в рядах, перпендикулярных к преобладающему направлению ветра, менее  $3D$ ,

тогда упомянутая сгенерированная турбулентность окружающей среды должна быть вычислена:

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{\hat{\sigma}_w^2 + \hat{\sigma}^2} + \hat{\sigma} \right), \quad (D.4)$$

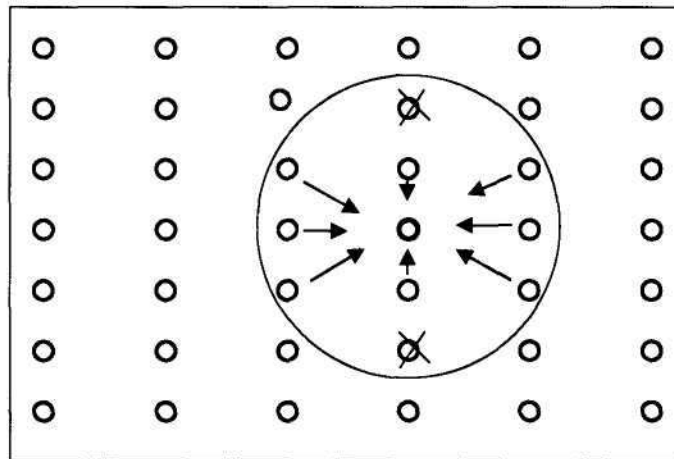
где

$$\hat{\sigma}_w = \frac{0,36V_{hub}}{1 + 0,2\sqrt{d_r d_f / C_T}} \quad (D.5)$$

$C_T$  - коэффициент тяги;

$d_r$  и  $d_f$  - расстояния, выраженные в диаметрах ветроколеса, в ряду и между

рядами, соответственно.



**Рис. D.1** - Конфигурация - размещения ветроустановок на площадке, с числом рядов более 2

## D.2 Справочная литература

S. Frandsen (2003) Turbulence and turbulence generated fatigue in wind turbine clusters, Risø report R-1188.

## 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 усреднения 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  $30^\circ$ , является совместимым с используемым МС. Наборы данных, используемые для получения уравнений регрессии, должны быть максимально длинными, как минимум обеспечивать консервативное покрытие консервативной части любых сезонных изменений.

#### Е.2 Применение для вычисления среднегодовой скорости ветра и распределения

Вышеупомянутые уравнения регрессии применяются к долговременным 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 могут 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 для повышения точности анализ Гумбеля, (например

Best Leiblein Unbiased Estimators (BLUE), описанный в "Руководстве для проектировщиков по ветровым нагрузкам 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), который является производным от метода 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 лет. В соответствии с МНШ выбираются отдельные штормовые пиковые скорости ветра путем сравнения с пороговыми 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 анализе Гумбеля.

Использование здесь этих коэффициентов является обоснованным, так как они были получены из почасовых средних данных и применяются к почасовым средним 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 могут быть более точно определены при использовании коэффициентов регрессии, учитывающих специфические особенности секторов, принимая во внимание зависимости, существующие на площадке.

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.

#### **Е.4 Справочная литература**

N J Cook, The designers guide to wind loading of building structures, Butterworths, 1995.

National Wind Power and Climatic Research Unit of the University of East Anglia, Prediction of extreme wind speed at wind energy sites, a set of guidelines prepared under ETSU contract W/11/00427/00.

R I Harris, Gumbel re-visited - a new look at extreme value statistics applied to wind speeds, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 59 (1996) pp 1-22.



D C Quarton Wind Farms in Hostile Terrain, Final Report, A report prepared under ETSU contract W/43/00501/00/00,, July 1999.

R I Harris, The accuracy of design values predicted from extreme value analysis, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 89 (2001) pp 153-164.

**Приложение F**

(справочное)

**Статистическая экстраполяция нагрузок для расчета предельной прочности****F.1 - Статистическая экстраполяция нагрузок**

Разрушение конструкции происходит, когда напряжение в критическом сечении превышает прочностные характеристики материала. Предполагая, что местные напряжения увеличиваются при увеличении действующей нагрузки, прочность элемента конструкции определяется по условию предельного нагружения, вызывающего разрушение. Учитывая эксплуатационные нагрузки и применяя подходящие коэффициенты безопасности, можно оценить прочность конструкции сравнением экстремальных величин нагрузки с предельной прочностью.

Для ВЭУ нагрузка зависит от набегающего турбулентного потока ветра при различных режимах ветра. Таким образом, необходимо рассчитать экстремальные величины нагрузок на основе статистических данных, чтобы определить соответствующие нормативные нагрузки. Для описанных процессов воздействия ветра целесообразно смоделировать текущие реакции конструкции как постоянный вероятностный процесс. Исходя из предположения, что наибольшие нагрузки возникают через значительные промежутки времени (и, таким образом, являются статистически независимыми), вероятность превышения наибольшей нагрузкой  $F_{ext}$  данной нагрузки  $F$  во время наблюдения  $T$ , определяется (см. Гумбел, 1958, и Крамер, 1966) выражением:

$$\text{Pr ob}(F_{ext} \geq F|V, T) = 1 - (F_{max}(F|V))^{E(n|V, T)} \quad (\text{F.1})$$

где  $F_{max}(F|V)$  - функция распределения вероятности локальных максимумов для процесса нагружения в краткосрочном периоде, и  $E(n|V, T)$  - ожидаемое число локальных максимумов в периоде времени наблюдения. Как обозначено, эти статистические величины соответствуют средним скоростям ветра  $V$  и, где обозначено, также зависят от периода времени наблюдения  $T$ .

Учитывая все рабочие режимы ветра, вероятность превышения для длительного периода времени получается интегрированием по всем рабочим скоростям ветра:

$$\text{Pr ob}(F_{ext} \geq F|T) \equiv P_e(F, T) = \int_{V_{in}}^{V_{out}} \text{Pr ob}(F_{ext} \geq F|V, T) p(V) dV, \quad (\text{F.2})$$

где  $p(V)$  - функция плотности вероятности для скорости ветра на высоте оси ветроколеса, установлена для стандартных классов ВЭУ в п. 6.3.1.1. Приемлемая вероятность превышения пропорциональна числу интервалов времени длиной  $T$  в периоде повторяемости  $T_r$ , связанном с нормативной нагрузкой. Результирующая

нормативная нагрузка  $F_k$ , определяется из уравнения:

$$P_e(F_k, T) = \frac{T}{T_r} \quad (F.3)$$

Функция  $Prob(F_{ext} \geq F|T)$  определена из моделирования реакций, в которых экстремальные значения получены следующим образом:

- извлеченные экстремальные значения должны быть отобраны так, чтобы они могли считаться независимыми;
- число экстремальных значений должно быть достаточным, чтобы определить тип распределения (Гумбеля, Вейбулла, или другой) и обеспечить надежную оценку поведения хвоста распределения;
- скорости ветра, при которых ожидаются самые высокие нагрузки, вызванные турбулентностью, должны быть включены в моделирование.

Нормативная нагрузка может быть получена в соответствии с следующей процедурой:

- из данных моделирования для данной скорости ветра  $V_j$  следует извлечь независимые экстремальные значения нагрузок. Одним методом выполнения этого является выбор наибольшей величины нагрузки между последовательными знакопеременными средними величинами плюс умноженное на 1,4 среднеквадратичное отклонение, полученное в процессе нагружения;

- надлежит подобрать закон распределения к отобранным экстремальным значениям данных. Руководство, описывающее один из методов для подбора распределения, может быть найден в работе Мориарти, и др. (2002). Выбранный тип распределения должен быть проверен на точность отображения выбранных данных и достаточность данных для надежной оценки поведения хвоста распределения. Рекомендуется использовать набор данных, представляющих все режимы ветра. Минимальная продолжительность данных ряда времени должна быть 300 минут;

- следует определить ожидаемое число максимумов в течение типичных 10 минутных периодов наблюдения  $T$  из уравнения:

$$n_i = n_s \frac{T}{T_s} \quad (F.4)$$

где  $T_s$  - полный период времени всех данных моделирования для данной скорости ветра,  $V_j$ , и  $n_s$  - общее количество максимумов, извлеченных из тех же самых данных моделирования;

- следует вычислить вероятность превышения нагрузки в течение длительного срока как функцию уровня нагружения, установленную в следующем уравнении (принимая рекомендованное распределение Рэлея для скорости ветра и стандартных ВЭУ, данных в п. 6.3.1.1):

$$P_e(F) = \sum_j \left( 1 - (F_{\max}(F|V_j))^{n_j} \right) \left( e^{-\pi \left( \frac{V_j - \Delta V_j / 2}{2V_{ave}} \right)^2} - e^{-\pi \left( \frac{V_j + \Delta V_j / 2}{2V_{ava}} \right)^2} \right), \quad (F.5)$$

где  $V_j$  - скорость ветра в центре бина и  $\Delta V_j$  является шириной бина;

- решение относительно нормативной нагрузки графически или численными методами нахождения корня дает:

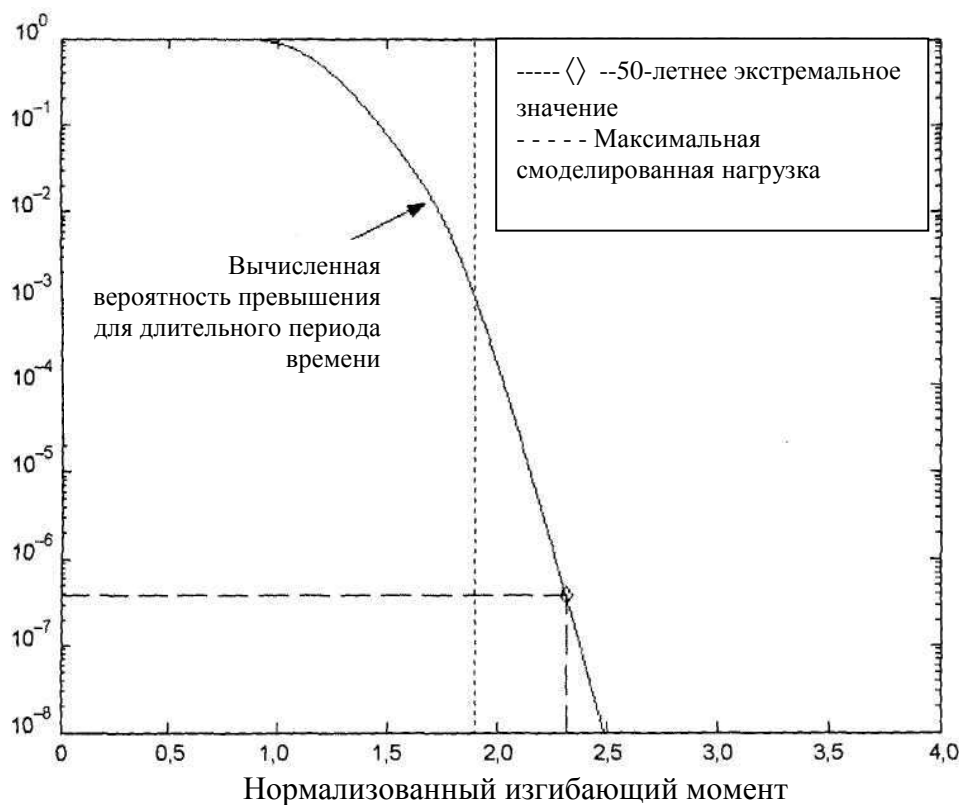
$$P_e(F_k) = 3,8 \times 10^{-7} \quad (F.6)$$

для 50-летнего периода повторяемости и базового интервала времени 10 мин.

При использовании данного метода следует тщательно выбрать адекватное число и разрешение бинов скоростей ветра для аппроксимации интегрирования в уравнении (F.2). Следует уделить особое внимание скоростям ветра, близким  $V_r$  и  $V_{out}$ . Точность дискретизации может быть оценена, пренебрегая величиной каждого другого бина и определением получающейся разницы в величине нормативной нагрузки.

Рис. F. 1 иллюстрирует, как определяются 1-летние и 50-летние экстремальные значения с помощью вычисленной кривой вероятности превышения для длительного периода времени. Нагрузка, изгибающая лопасть, была нормализована величиной средней изгибающей нагрузки при номинальной скорости ветра. На графике также показана наибольшая вычисленная изгибающая нагрузка лопасти для всех моделирований при различных средних скоростях ветра в интервале между скоростями включения и отключения.

Вероятность  
превышения  
нормализованного  
изгибающего  
момента



**Рис. F. 1** Вероятность превышения для наибольшей боковой изгибающей нагрузки лопасти за 10 минут (нормализованной средней величиной изгибающей нагрузки при номинальной скорости)

## F.2 Справочная литература

Cramer, H., On the Intersections Between Trajectories of a Normal Stationary Stochastic Process and a High Level, *Arkiv for Matematik.*, v.6, 1966, pp.337-349.

Gumbel, E.J., *Statistics of Extremes*, Columbia Univ. Press, 1958, p.73.

Patrick J. Moriarty, P.J., Holley, W.E. and Butterfield, C.P., Effect of turbulence variation on extreme loads prediction for Wind turbines, paper AIAA-2002-0050, 2002 .

## Приложения Г (справочное)

### Расчет на усталость по правилу Майнера с экстраполяцией нагрузки

#### Г.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 цикл (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 <sup>21</sup> :

$$D = \sum_i \frac{1}{N(S_i)} \quad (\text{G.1})$$

где  $S_i$  - диапазон нагрузки для  $i$ -го цикла,  $N(.)$  - число циклов до разрушения при постоянной величине амплитуды нагружения с диапазоном, заданным аргументом (то есть - кривая S-N). Предполагается, что локальное напряжение в месте разрушения линейно связано с величиной нагрузки. Как правило, для расчета на усталость кривая S-N, 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.

<sup>21</sup> Примечание. 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.

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  $T$  будет определено:

$$E\langle D|V, T \rangle = \int_0^{\infty} \frac{n_{ST}(S|V, T)}{N(S)} dS, \quad (G.2)$$

где  $n_{ST}(S|V, T)$  - спектр кратковременного нагружения, определенный как функция плотности для определенного числа циклов. В этом случае, ожидаемое число циклов в любом интервале диапазона нагружения  $(S_A, S_B)$  в течение периода

$$\int_{S_A}^{S_B} n_{ST}(S|V, T) dS$$

времени  $T$  определяется  $\frac{\int_{S_A}^{S_B} n_{ST}(S|V, T) dS}{N(S)}$ .

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 выражение:

$$E\langle D \rangle = \frac{Lifetime}{T} \int_{V_{in}}^{V_{out}} E\langle D|V, T \rangle p(V) dV = \frac{Lifetime}{T} \int_{V_{in}}^{V_{out}} \int_0^{\infty} \frac{n_{ST}(S|V, T)}{N(S)} p(V) dS dV, \quad (G.3)$$

где  $p(V)$  - функция плотности вероятности для скорости ветра на высоте оси ветроколеса для стандартных классов ВЭУ, описанных в п. 6.3.1.1.

Спектр нагружения для длительно действующих нагрузок имеет вид:

$$n_{LT}(S) = \frac{Lifetime}{T} \int_{V_{in}}^{V_{out}} n_{ST}(S|V, T) p(V) dV, \quad (G.4)$$

тогда

$$E\langle D \rangle = \int_0^{\infty} \frac{n_{LT}(S)}{N(S)} dS. \quad (G.5)$$

На практике во многих случаях удобно разделить диапазоны величин нагрузок и скоростей ветра на отдельные подгруппы - бины. В этом случае, ожидаемое повреждение может быть аппроксимировано:

$$E\langle D \rangle \approx \sum_{j,k} \frac{n_{jk}}{N(S_k)}, \quad (G.6)$$

где  $n_{jk}$  - ожидаемое число циклов нагружения в течение срока эксплуатации в  $j$  - ом бине скорости ветра  $k$  - ом - бине величины нагрузки,  $S_k$  - величина, соответствующая центру  $k$  - ого бина величины нагрузки. Отсюда:

$$n_{jk} = \frac{Lifetime}{T} \int_{v_j - \Delta V_j / 2}^{v_j + \Delta V_j / 2} \int_{s_k - \Delta S_k / 2}^{s_k + \Delta S_k / 2} n_{ST}(S|V, T) p(V) dS dV, \quad (G.7)$$

где  $\Delta V_j$  - ширина  $j$  - бина скорости ветра и  $\Delta S_k$  - ширина  $k$  - го бина нагрузки.

Учет данных результатов и требований п. 7.6.3 в отношении использования коэффициентов безопасности для нагрузок, дает выражение для расчета по предельной усталостной прочности:

$$\int_0^{\infty} \frac{n_{LT}(S)}{N(\gamma S)} dS \leq 1. \quad (G.8)$$

где  $\gamma = \gamma_f \gamma_m \gamma_n$  - произведение всех трех главных парциальных коэффициентов безопасности для нагрузок, материалов, и последствий отказа соответственно. В дискретной форме это выражение приобретает вид:

$$\sum_{j,k} \frac{n_{jk}}{N(\gamma S_k)} \leq 1. \quad (G.9)$$

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 величину 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 в результате циклов с переменными средними значениями. Таким образом, разрушение произойдет (в среднем) для того же самого числа циклов с постоянной амплитудой эквивалентного циклического диапазона,  $S_{eq}$ , 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

$$N(S_{eq}, M_0) = N(S, M) \quad (G.10)$$

решается для  $S_{eq}$  при заданных величинах S, M и выбранной постоянной величине среднего уровня цикла  $M_0$ . В математических терминах это может быть представлено как:



$$S_{eq} = N^{-1}(N(S, M), M_0), \quad (G.11)$$

где обратная функция относится к первой переменной функции,  $N$ , данной во второй переменной. Как правило,  $M_0$  выбирается так, чтобы дать величину  $R$  (отношение максимальной нагрузки к минимальной нагрузке) для эквивалентных циклов нагружения, которые находятся в середине диапазона величин, взятых непосредственно из данных нагружения. Часто приемлемой величиной является величина средней нагрузки, учитывающей все скорости ветра из рабочего диапазона. Для большинства случаев, когда кривые S-N 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-N 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-N для 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 правильно 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 каждого бина 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 бинов в этом методе отдельно не отслеживаются, и большинство циклов нагружения рассчитывается на основе типичных временных рядов измеренных нагрузок для каждого бина 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 исказить форму аналитической аппроксимации хвоста распределения. Поэтому при аппроксимации хвоста краткосрочного распределения рекомендуется рассматривать только циклы выше пороговой величины. Пороговая величина с наименьшим 95—ым перцентилем обычно дает

хорошие практические результаты. Понижение пороговой величины может быть оправдано, если маленькие циклы были исключены или, если увеличенное число данных, используемых 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 могут быть объединены 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  $F_{ST}(S|V, T)$  для данных выше назначенного порога. Описание одного из методов подбора аналитического выражения для распределения может 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 каждом бине в течение срока службы, используя данные, когда бин нагружения ниже порогового значения, и подобранное аналитическое распределение для нагружения, когда бин нагружения выше порогового значения, в соответствии с формулой:

$$n_{jk} = \left( \frac{Lifetime}{T} \right) P_j \left\{ M_j \left( F \left( S_k + \frac{\Delta S_k}{2} | V_j, T \right) - F \left( S_k - \frac{\Delta S_k}{2} | V_j, T \right) \right) \right. \\ \left. \begin{array}{l} \text{если } S_k \text{ ниже } j\text{-го порога} \\ \text{если } S_k \text{ выше } j\text{-го порога} \end{array} \right. \quad (G.12)$$

- где  $m_{jk}$  - число смоделированных циклов усталости, насчитываемых в данных для j-го бина скорости ветра и k – го бина нагружения ниже назначенного порога,  $M_j$  - число усталостных циклов, подсчитанных при моделировании, выше порога, и

$$P_j = e^{-\pi \left( \frac{V_j - \Delta V_j / 2}{2V_{ave}} \right)^2} - e^{-\pi \left( \frac{V_j + \Delta V_j / 2}{2V_{ava}} \right)^2}$$
 показывает часть времени, которую скорость ветра находится в бине  $j$  для принятого распределения Рэля в отношении скорости ветра.

- просуммировать долевыми повреждения, используя левую часть уравнения (G.9).
- просуммировать полное повреждение за весь срок службы для всех случаев усталостного нагружения.

При использовании данного метода следует проверить:

- достаточна ли величина выбранного разрешения для бинов 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 бина, пропускающими данные от каждой другой скорости ветра или диапазона нагружения. В качестве альтернативы должно быть вычислено суммарное повреждение, используя конечные точки величин бинов, вместо средних величин для получения граничного результата. Вторая проблема может быть исследована, если прогрессивно увеличивать величину наибольшего диапазона бина нагружения до обнаружения незначительного прироста накопленного в течение срока службы повреждения.

Следует отметить, что поскольку отношение  $\frac{Lifetime}{T}$  является большим числом, то наибольший необходимый бин 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.

## G.2 Справочная литература

Dowling, N.E., Fatigue Failure Predictions for Complicated Stress-strain Histories, J. of Materials, v. 7, n.1, Mar., 1972, pp. 71-87.

Matsuishi, M. and Endo, T., Fatigue of Metals Subjected to Varying Stress, Proc. Japan Soc. of Mech. Engrs., n. 68-2,1968, pp. 37-40.

Miner, M.A. Cumulative Damage in Fatigue, J. of Applied Mech., v.12, 1945, pp. A159-A164 . Moriarty, P. J. and Holley, W. E., Using Probabilistic Models in Wind Turbine Design, Proc. ICASP9, San Francisco, CA, July 6-9,2003.

Palmgren, A. , Die Lebensdauer von Kugellagern, Zeitschrift der Vereines Deutscher Ingenieure, v. 68, n. 14, 1924, pp. 339-341.

## Приложение Н

(обязательное)

**Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации, использованным в настоящем стандарте в качестве нормативных ссылок**

<b>Обозначение ссылочного национального стандарта Российской Федерации</b>	<b>Обозначение и наименование ссылочного стандарта и условное обозначение степени его соответствия ссылочному национальному стандарту</b>
ГОСТ 27.001-95 Система стандартов «Надежность в технике» Основные положения	ИСО 2394: 1998, Надежность в технике Основные положения (NEQ)
ГОСТ 18854-94 (ИСО 76-87)	ИСО 76:1987, Подшипники качения. Статическая грузоподъемность (IDT)
ГОСТ 18855-94 (ИСО 281-89)	ИСО 281: 1990, Подшипники качения. Динамическая расчетная грузоподъемность и расчетный ресурс (IDT)
ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования	МЭК 60204-1:1997, Безопасность оборудования- Изделия электротехнические - Часть 1: Общие требования безопасности (NEQ)
ГОСТ 12.2.007.0—75 ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности	МЭК 60204-1:1997, Безопасность оборудования- Изделия электротехнические - Часть 1: Общие требования безопасности (NEQ)
ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности	МЭК 60204-11 :2000, Безопасность оборудования - Изделия электротехнические - Часть 11: Требования для высоковольтного оборудования напряжением свыше 1000 В переменного тока или 1500 В постоянного тока до 36 кВ (NEQ)

ГОСТ 30331.2-95 (МЭК 364-3-93)/ГОСТ Р 50571.2-94 (МЭК 364-3-93) Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики	МЭК 60364 (все части), Электроустановки зданий (NEQ)
ГОСТ Р 51991-2002 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Общие технические требования	МЭК 60721-2-1:1982, Классификация условий окружающей среды - Часть 2: Условия внешней природной окружающей среды. Температура и влажность (NEQ)
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	МЭК 61000-6-1:1997, Совместимость технических средств электромагнитная. (ЭМС) - Часть 6: Группа стандартов Раздел 1: Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением.(IDT)
ГОСТ Р 51317.6.5-2006 (МЭК 61000-6-5-2001) Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях	МЭК 61000-6-2:1999, Совместимость технических средств электромагнитная (ЭМС) - Часть 6: Группа стандартов Раздел 2: Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств (NEQ)
ГОСТ Р 51317.6.3—99 (МЭК 61000-6-3—96) Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоэмиссия от технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Нормы и методы испытаний	МЭК 61000-6-4:1997, Совместимость технических средств электромагнитная (ЭМС) - Часть 6: Группа стандартов Раздел 4: Помехоэмиссия от технических средств. Нормы (NEQ)
ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление	МЭК 61024-1 :1990, Защита конструкций от молний - Часть 1: Общие принципы (NEQ)
ГОСТ Р 50571.26-2002	МЭК 61312-1:1995, Защита от

<p>(МЭК 60364-5-534-97) Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Раздел 534. Устройства защиты от импульсных перенапряжений</p>	<p>грозовых электромагнитных импульсов - Часть 1: Общие принципы (NEQ)</p>
<p>ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения</p>	<p>МЭК 61400-21:2001, Установки электрические ветровые - Часть 21: Измерение и оценка качества электроэнергии установок для подключения к сети (NEQ)</p>
<p>ГОСТ Р 51991-2002 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Общие технические требования</p>	<p>МЭК 61400-24:2002, Установки электрические ветровые - Часть 24: Молниезащита (NEQ)</p>
<p>ГОСТ Р 51991-2002 Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Общие технические требования</p>	<p>ИСО 2533:1975, Стандартные параметры атмосферы (NEQ)</p>
<p><i>Примечание: Использован СНиП, см. Библиографию</i></p>	<p><i>ИСО 4354:1997, Воздействие ветровых нагрузок на конструкции</i></p>
<p>ГОСТ 21354-87(СТ СЭВ 5744-86) Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность</p>	<p>ИСО 6336 (все части), Расчет нагрузочной способности прямозубых и косозубых зубчатых колес (NEQ)</p>
<p>ГОСТ Р ИСО 9004:2001</p>	<p>ИСО 9001:2000, "Системы менеджмента качества. Руководящие указания по улучшению качества" (NEQ)</p>
<p>ГОСТ Р ИСО 9001:2001</p>	<p>ИСО 9001:2000, "Системы менеджмента качества. Требования" (NEQ)</p>

## Справочная литература

Требования при проектировании ВЭУ основаны на использовании перечисленных ниже стандартов:

IEC 60034 (all parts), Rotating electrical machines

IEC 60038, IEC standard voltages

IEC 60146 (all parts), Semiconductor converters

IEC 60173: 1964, Colours of the cores of flexible cables and cords

IEC 60227 (all parts), Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V

IEC 60245 (all parts), Rubber insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V

IEC 60269 (all parts), Low-voltage fuses

IEC 60287 (all parts), Electric cables - Calculation of the continuous current rating (100 % load factor)

IEC 60439 (all parts), Low voltage switchgear and control gear assemblies

IEC 60446:1999, Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification- Identification of conductors by colours or numerals

IEC 60529:1989, Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)

IEC 60617, Graphical symbols for diagrams

IEC 60755:1983, General requirements for residual current-operated protective devices

IEC 60898:1995, Electrical accessories - Circuit breakers for overcurrent protection for household and similar installations

IEC 61310-1:1995, Safety of machinery - Indication, marking and actuation - Part 1: Requirements for visual, auditory and tactile signals

IEC 61310-2:1995, Safety of machinery - Indication, marking and actuation - Part 2: Requirements for marking

ISO 3010:2001, Basis for design of structures - Seismic actions on structures

ISO 8930: 1993, General principles on reliability for structures - List of equivalent terms



## Библиография

- [1] СНиП II-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-геологические изыскания для гидротехнических сооружений
- [5] ВСН 34.3.89 Инженерно-гидрометеорологические изыскания для гидроэнергетического строительства
- [6] ВСН 34.72.060-91 Создание геодезической разбивочной 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. № 51 (в редакции постановления Минтруда России от 29.10.99 от 03.02.04 г. №7))
- [8] СНиП 2.09.03-85 Сооружения промышленных предприятий

## Содержание

1	Область применения .....	4
2	Нормативные ссылки .....	4
3	Термины и определения .....	7
4	Сокращения и обозначения.....	18
4.1	Обозначения.....	18
4.2	Сокращения .....	21
5	Основные положения.....	22
5.1	Общие требования.....	22
5.2	Методология проектирования .....	22
5.3	Классы безопасности ВЭУ.....	23
5.4	Гарантии качества.....	23
5.5	Маркировка ВЭУ.....	23
6	Факторы внешней окружающей среды.....	24
6.1	Основные положения.....	24
6.2	Классы ВЭУ.....	25
6.3	Режимы ветра .....	27
6.4	Прочие факторы окружающей среды.....	37
6.5	Влияние сети подключения .....	39
7	Проектирование конструкции .....	40
7.1	Основные положения .....	40
7.2	Методология проектирования.....	40
7.3	Нагрузки.....	40
7.4	Проектные ситуации и варианты нагружения.....	41
7.5	Расчет нагрузок .....	49
7.6	Расчет предельной прочности.....	50
8	Система управления и защиты.....	59

8.1	Основные положения.....	59
8.2	Функции управления.....	59
8.3	Функции защиты.....	60
8.4	Система торможения.....	61
9	Механические системы.....	62
9.1	Основные положения.....	62
9.2	Ошибки при сборке.....	63
9.3	Гидравлические и пневматические системы.....	63
9.4	Главная коробка передач.....	64
9.5	Система установки на ветер.....	64
9.6	Система управления лопастями.....	65
9.7	Аварийные тормоза.....	65
9.8	Подшипники качения.....	65
10	Электрическая система.....	66
10.1	Основные положения.....	66
10.2	Общие технические требования к электрической системе ВЭУ.....	66
10.3	Защитные устройства.....	67
10.4	Разъединительные устройства.....	67
10.5	Система заземления.....	67
10.6	Молниезащита.....	68
10.7	Электрические кабели.....	68
10.8	Самовозбуждение.....	68
10.9	Защита от грозовых электромагнитных импульсов.....	68
10.10	Качество электроэнергии.....	68
10.11	Электромагнитная совместимость.....	69
11	Выбор ВЭУ по условиям соответствия площадке размещения.....	69
11.1	Основные положения.....	69

11.2	Оценка топографической сложности площадки.....	70
11.3	Параметры ветра, определяемые в проекте.....	70
11.4	Оценка влияния эффекта «затенения» соседними ВЭУ.....	71
11.5	Оценка прочих параметров окружающей среды.....	72
11.6	Оценка устойчивости для сейсмически опасных районов.....	72
11.7	Оценка влияния сети подключения.....	74
11.8	Инженерно-геологические и инженерно-геодезические изыскания....	75
11.9	Оценка структурной целостности ВЭУ на основе данных измерения параметров ветра.....	75
11.10	Оценка структурной целостности ВЭУ при воздействии нагрузок, вызванных специфическими особенностями площадки размещения...	76
12	Сборка, установка и монтаж.....	77
12.1	Основные положения.....	77
12.2	Планирование.....	79
12.3	Требования к площадке при установке.....	79
12.4	Транспортирование оборудования ВЭУ.....	79
12.5	Параметры окружающей среды.....	80
12.6	Документация.....	80
12.7	Перемещение оборудования и хранение.....	81
12.8	Специальные приспособления, такелаж, растяжки.....	81
12.9	Сборка ВЭУ.....	82
12.10	Монтаж ВЭУ.....	82
12.11	Крепежные соединения.....	82
12.12	Подъемно-транспортное оборудование.....	82
13	Ввод в эксплуатацию, эксплуатация и техническое обслуживание.....	83
13.1	Основные положения.....	83
13.2	Общие требования для осуществления безопасной эксплуатации, проведения осмотров и технического обслуживания ВЭУ.....	84
13.3	Инструкции по вводу в эксплуатацию.....	85
13.4	Руководство по эксплуатации.....	86

13.5	Руководство по техническому обслуживанию.....	86
14	Охрана окружающей среды.....	89
15	Требования по утилизации (ликвидации) ВЭУ.....	90
	Приложение А (Обязательное) Проектные данные для конструирования ВЭУ класса S.....	91
	Приложение В (справочное) Модели турбулентности.....	92
	Приложение С (справочное) Расчет сейсмических нагрузок.....	98
	Приложение D (справочное) Оценка влияния спутной струи и турбулентности на площадках ВЭС.....	99
	Приложение E (справочное) Прогнозирование распределения ветра для площадок размещения ВЭУ на основе метода «Измерение- сопоставление-прогноз» (ИСП).....	102
	Приложение F (справочное) Статистическая экстраполяция нагрузок для расчета предельной прочности.....	105
	Приложения G (справочное) Расчет на усталость по правилу Майнера с экстраполяцией нагрузки.....	109
	Приложение H (обязательное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации, использованным в настоящем стандарте в качестве нормативных ссылок	116
	Библиография.....	120

УДК \_\_\_\_\_

ОКС \_\_\_\_\_

ГОСТ Р  
Проект, 1-я редакция  
обозначение стандарта

код продукции

Ключевые слова: установки электрические, ветровые, требования, конструкция

Руководитель организации-разработчика

Руководитель  
разработки

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

СОИСПОЛНИТЕЛИ

Руководитель организации-соисполнителя

**ЗАО «НПЦ малой энергетики»**

Руководитель  
разработки

Ген. директор

И. Я. Редько

Ответственный  
исполнитель

Зам. директора

Л. В. Варигина

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_