



НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

СИСТЕМИ ТУРБОГЕНЕРАТОРНІ ВІТРЯНІ

Частина 1. Вимоги безпеки

ДСТУ ІЕС 61400-1:2001

**Київ
Держстандарт України
2003**

ПЕРЕДМОВА

- 1 ВНЕСЕНО Інститутом загальної енергетики Національної Академії Наук України, ТК 48 «Енерго-збереження»
- 2 НАДАНО ЧИННОСТІ наказом Держстандарту України від 1 квітня 2002 р. № 205 з 2003–07–01
- 3 Стандарт відповідає IEC 61400-1:1999 Wind turbine generator systems. Part 1: Safety requirements, (Системи турбогенераторні вітряні. Частина 1. Вимоги безпеки)
Ступінь відповідності — ідентичний (IDT)
Переклад з англійської (en)
- 4 ВВЕДЕНО ВПЕРШЕ
- 5 ПЕРЕКЛАД І НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ РЕДАГУВАННЯ: **П. Васько**, д-р техн. наук; **І. Соколовська**; **І. Стоянова**, канд. техн. наук; **З. Шварцман**

ЗМІСТ

	с.
Національний вступ	VI
1 Сфера застосування	1
2 Нормативні посилання	1
3 Терміни та визначення понять	2
4 Позначення та скорочені терміни	8
4.1 Позначення та одиниці фізичних величин	8
4.2 Аббревіатури	9
5 Основні елементи	10
5.1 Загальні положення	10
5.2 Методи проектування	10
5.3 Класи безпеки	10
5.4 Гарантії якості	10
5.5 Маркування вітряних турбін	10
6 Зовнішні умови	11
6.1 Загальні положення	11
6.2 Класи ВТГС	11
6.3 Вітрові умови	12
6.4 інші умови довкілля	18
6.5 Умови електричної мережі	18
7 Конструкторський проект	19
7.1 Загальні положення	19
7.2 Методологія проектування	19
7.3 Навантаження	19
7.4 Проектні ситуації та види навантаження	20
7.5 Розрахунки навантаження	23
7.6 Аналіз крайніх граничних станів	23
8 Система керування та захисту	27
8.1 Загальні положення	27
8.2 Керування вітряною турбіною	27
8.3 Захист вітряної турбіни	27
8.4 Функціональні вимоги системи захисту та керування	28
9 Механічні системи	28
9.1 Загальні положення	28
9.2 Помилки збирання	28
9.3 Гідравлічна чи пневматична системи	28

10 Електрична система	29
10.1 Загальні положення	29
10.2 Загальні вимоги до електричної системи ВТГС	29
10.3 Захисні пристрої	29
10.4 Пристрої відключення	29
10.5 Система заземлення	29
10.6 Захист від блискавок	29
10.7 Електричні кабелі	29
10.8 Самозбудження	30
10.9 Захист від перенапруг	30
10.10 Гармоніки та обладнання електрорегулювання	30
11 Оцінювання зовнішніх умов	30
11.1 Загальні положення	30
11.2 Оцінювання вітрових умов	30
11.3 Оцінювання інших умов довкілля	31
11.4 Оцінювання умов електричної мережі	31
11.5 Оцінювання умов ґрунту	31
12 Складання, установлення та монтаж	31
12.1 Загальні положення	31
12.2 Планування	32
12.3 Умови встановлення	32
12.4 Доступ до місця розташування	32
12.5 Умови довкілля	32
12.6 Документація	32
12.7 Приймання, транспортування та зберігання	32
12.8 Системи основа/анкер	33
12.9 Складання ВТГС	33
12.10 Монтаж ВТГС	33
12.11 Кріпильні деталі та пристрої	33
12.12 Крани, лебідки та підймальне обладнання	33
13 Введення в експлуатацію, експлуатація та технічне обслуговування	33
13.1 Загальні положення	33
13.2 Введення в експлуатацію	34
13.3 Експлуатація	34
13.4 Перевірка та технічне обслуговування	35
Додаток А Проектні параметри для опису ВТГС класу S	37
Додаток В Стохастичні моделі турбулентності	38

Додаток С Детерміністичний опис турбулентності	40
Додаток D Бібліографія	41
Додаток НА Порівняльна таблиця визначень	42
Таблиця 1 — Основні параметри для класів ВТГС	11
Таблиця 2 — Види проектних навантажень	21
Таблиця 3 — Коефіцієнти часткової безпеки для навантажень γ_i	25
Таблиця 4 — Загальні коефіцієнти часткової безпеки для матеріалів за природної мінливості	25
Таблиця B.1 — Спектральні параметри турбулентності для моделі Кеймела	38
Рисунок 1 — Характеристична турбулентність вітру	13
Рисунок 2 — Приклад екстремального робочого пориву	14
Рисунок 3 — Приклад модуля екстремальної зміни напрямку	15
Рисунок 4 — Приклад екстремальної зміни напрямку	15
Рисунок 5 — Екстремальний когерентний порив (ECG)	16
Рисунок 6 — Зміна напрямку для ECD	16
Рисунок 7 — Часовий розвиток зміни напрямку для $V_{hub} = 25$ м/с	16
Рисунок 8 — Екстремальний вертикальний вітровий відхил, вітровий профіль до екстремальної події та за максимального відхилення	17
Рисунок 9 — Швидкість вітру відповідно наверху та внизу ротора	17

НАЦІОНАЛЬНИЙ ВСТУП

Цей стандарт є ідентичний переклад IEC 61400-1:1999 Wind turbine generator systems — Part 1: Safety requirements (Системи турбогенераторні вітряні. Частина 1. Вимоги безпеки).

Технічний комітет, відповідальний за цей стандарт — ТК 48 «Енергозбереження».

Стандарт містить вимоги, які відповідають чинному законодавству України.

Цей стандарт описує мінімальні вимоги безпеки для вітряних турбогенераторних систем, він не призначений для використання як повні технічні умови для проектування або як настанова до дії.

Будь-які вимоги цього стандарту може бути відхилено, якщо можна відповідним чином продемонструвати, що безпека системи незадовільна. Проте ці відхилення незастосовні до розділу 6.

Відповідно до цього стандарт не звільняє ніякі особи, організації або корпорації від відповідальності додержуватись інших чинних положень.

До стандарту внесено такі редакційні зміни:

— слова «ця частина IEC» і «цей міжнародний стандарт» замінено на «цей стандарт»;

— включено національний інформаційний додаток НА з урахуванням інтересів користувачів.

У цьому додатку наведено порівняльну таблицю визначення понять у стандартах IEC 61400-1 та ДСТУ 3896–99 «Вітроенергетичні установки та вітроелектричні станції. Терміни та визначення»;

— у розділах 2, 4 та додатку D подано «Національне пояснення», виділене рамкою;

— до «Національного вступу» з «Передмови» та «Вступу» до МС узято те, що безпосередньо стосується цього стандарту;

— терміни 3.5, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.18, 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25, 3.28, 3.31, 3.32, 3.39, 3.40, 3.41, 3.42, 3.47, 3.49, 3.53, 3.55, 3.56, 3.67, 3.69, 3.70, 3.74 подано ідентичними термінами, наведеними в ДСТУ IEC 61400-2:2001;

— позначення одиниць вимірювання відповідає вимогам серії стандартів ДСТУ 3651 Метрологія. Одиниці фізичних величин;

— структурні елементи цього стандарту: «Обкладинку», «Передмову», Національний вступ», першу сторінку, «Визначення понять» та «Бібліографію» — оформлено згідно з вимогами державної системи стандартизації України.

Додатки А, В і С є невід'ємна частина цього стандарту.

Додаток D — тільки довідковий.

Загальна термінологія відповідає IEC 60050: International Electrotechnical Vocabulary (IEV) (Міжнародний електротехнічний словник (IEV)).

Графічні та літерні позначення, а також знаки, схвалені IEC для загального використання, відповідають публікаціям:

IEC 60027 Letter symbols to be used in electrical technology (Літерні символи для використання в електротехнічній термінології)

IEC 60417 Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets (Графічні символи для позначення обладнання. Показчик, обстеження й упорядкування одиничних листів)

IEC 60617 Graphical symbols for diagrams (Графічні символи для схем)

Замість IEC 60027 в Україні в частині позначень основних електричних і магнітних величин чинний ДСТУ 3120–95.

У стандарті є посилання на ISO 9001:1994, ISO 9002:1994; ISO 9003:1994, які впроваджують в Україні як державні стандарти.

Копії стандартів, на які є посилання в цьому стандарті, можна отримати в Національному фонді нормативних документів.

НАЦІОНАЛЬНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ

СИСТЕМИ ТУРБОГЕНЕРАТОРНИ ВІТРЯНІ

Частина 1. Вимоги безпеки

СИСТЕМЫ ТУРБОГЕНЕРАТОРНЫЕ ВЕТРОВЫЕ

Часть 1. Требования безопасности

WIND TURBINE GENERATOR SYSTEMS

Part 1. Safety requirements

Чинний від 2003-07-01

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

У цьому стандарті розглянуто загальні поняття безпеки, гарантії якості та технічна цілісність, а також установлені вимоги безпеки вітряних турбогенераторних систем (ВТГС), включаючи проектування, будівництва, технічне обслуговування та експлуатацію за певних умов довкілля. Призначення стандарту — забезпечити належний рівень захисту цих систем від пошкоджень через небезпеку протягом запланованого строку служби.

Цей стандарт стосується всіх підсистем ВТГС, таких, як механізми керування та захисту, внутрішні електричні системи, опорні конструкції та електричне з'єднання з обладнанням.

Цей стандарт поширюється на ВТГС з площею обмаху, що дорівнює або перевищує 40 м².

Цей стандарт слід застосовувати разом з відповідними стандартами IEC/ISO, які визначено в розділі 2.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

Наведені нижче нормативні документи містять положення, які через посилання в цьому тексті становлять положення цього стандарту. На час опублікування цього стандарту зазначені нормативні документи були чинними. Усі нормативні документи підлягають перегляду, і учасникам угод, базованих на цьому стандарті, необхідно визначити можливість застосування найновіших видань нормативних документів, наведених нижче. Члени IEC та ISO впорядковують реєстри чинних міжнародних стандартів.

IEC 60204-1:1997 Safety of machinery — Electrical equipment of machines — Part 1: General requirements

IEC 60364 (all parts) Electrical installations of building

IEC 60721-2-1:1982 Classification of environmental conditions — Part 2: Environmental conditions appearing in nature — Temperature and humidity

IEC 61000-3-2:1998 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 3-2: Limits — Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)

IEC 61000-3-3:1994 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 3-3: Limits — Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current ≤ 16 A

IEC 61000-4-2:1995 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-2: Testing and measurement techniques — Electrostatic discharge immunity test. Basic EMC publication

IEC 61000-4-3:1995 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-3: Testing and measurement techniques — Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test

IEC 61000-4-4:1995 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-4: Testing and measurement techniques — Electrical fast transient/burst immunity test. Basic EMC publication
IEC 61000-4-5:1995 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 4-5: Testing and measurement techniques — Surge immunity test
IEC 61024-1:1990 Protection of structures against lightning — Part 1: General principles
IEC 61312-1:1995 Protection against lightning electromagnetic impulse — Part 1: General principles
ISO 2394:1986 General principles on reliability for structures

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

IEC 60204-1:1997 Безпечність машин. Електричне обладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги

IEC 60364 (усі частини) Електричне обладнання будинків

IEC 60721-2-1:1982 Класифікація умов довкілля. Частина 2. Природні умови довкілля. Температура і вологість

IEC 61000-3-2:1998 Електромагнітна сумісність (EMC). Частина 3-2. Граничні значення. Границі гармонічних струмів, що виділяються (вхідний струм обладнання ≤ 16 А на фазу)

IEC 61000-3-3:1994 Електромагнітна сумісність (EMC). Частина 3-3. Граничні значення. Обмеження коливань та пульсації напруги у низьковольтних системах живлення для обладнання з номінальним струмом ≤ 16 А

IEC 61000-4-2:1995 Електромагнітна сумісність (EMC). Частина 4-2. Методики випробування та вимірювання. Вимірювання на заводозахисності, беручи до уваги електростатичності. Основна публікація з EMC

IEC 61000-4-3:1995 Електромагнітна сумісність (EMC). Частина 4-3. Методики випробування та вимірювання. Випробування на заводозахисності від випромінюваного височастотного електромагнітного поля

IEC 61000-4-4:1995 Електромагнітна сумісність (EMC). Частина 4-4. Методики випробування та вимірювання. Випробування на заводозахисності у разі швидкого електричного перехідного процесу чи викиду. Основна публікація з EMC

IEC 61000-4-5:1995 Електромагнітна сумісність (EMC). Частина 4-5. Методики випробування та вимірювання. Випробування на заводозахисності у разі перепаду напруги

IEC 61024-1:1990 Захист споруд від блискавки. Частина 1. Загальні принципи

IEC 61312-1:1995 Захист від електромагнітного імпульсу блискавки. Частина 1. Загальні принципи

ISO 2394:1986 Загальні принципи надійності конструкцій

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПОНЯТЬ

У цьому стандарті використано такі визначення понять:

3.1 середньорічне значення (*annual average*)

Середнє значення сукупності вимірених даних достатньої величини та тривалості для використання як оцінки очікуваного кількісного значення. Проміжок часу усереднення має бути цілим числом років для усереднення, за винятком нестационарних характеристик, зокрема сезонності

3.2 середньорічна швидкість вітру (*annual average wind speed*)

Швидкість вітру, усереднена відповідно до визначення «середньорічне значення»

3.3 цикл автоматичного повторного включення (*auto-reclosing cycle*)

Подія за період часу, що змінюється приблизно від 0,01 с до декількох секунд, протягом якого вимикач, відключений після аварії в мережі, автоматично повторно включається і лінія знову приєднується до електричної мережі

3.4 блокування (вітряні турбіни) (*blocking (wind turbines)*)

Використання механічного штиря або іншого пристрою (відмінного від звичайного механічного гальма) для запобігання руху, наприклад, вала ротора або механізму никання

3.5 гальмо (вітряні турбіни) (*brake (wind turbines)*)

Пристрій, здатний знижувати швидкість ротора або зупиняти обертання

3.6 катастрофічне пошкодження (вітряні турбіни) (*catastrophic failure (wind turbines)*)

Руйнування або падіння компонента або конструкції, яке призводить до втрати життєвої функції, що порушує безпеку

3.7 характеристичне значення (властивості матеріалу) (*characteristic value (of a material property)*)

Значення, яке має задану ймовірність того, що воно не буде досягнуто за гіпотетично необмежених серій випробування

3.8 навколишня територія (*complex terrain*)

Довкілля, яке відзначається суттєвими топографічними змінами та перешкодами місцевості, що може спричинити викривлення потоку

3.9 система керування (вітряні турбіни) (*control system (wind turbines)*)

Підсистема, яка приймає інформацію про умови вітряної турбіни та/або довкілля і регулює вітряну турбіну для підтримання її в режимах експлуатації

3.10 вмикальна швидкість вітру (V_{in}) (*cut-in wind speed (V_{in})*)

Мінімальна швидкість вітру на висоті маточини, за якої вітряна турбіна починає виробляти енергію для подальшого використання (див. 3.24, висота маточини)

3.11 вимикальна швидкість вітру (V_{out}) (*cut-out wind speed (V_{out})*)

Максимальна швидкість вітру на висоті маточини, за якої вітряна турбіна запроектована виробляти енергію для подальшого використання (див. 3.24, висота маточини)

3.12 проектні межі (*design limits*)

Максимальні або мінімальні значення, використані в проекті

3.13 приховане пошкодження (також відомо як прихований дефект) (*dormant failure (also known as latent fault)*)

Пошкодження компонента або системи, яке залишається невиявленим під час роботи в нормальному режимі

3.14 завітровий (*downwind*)

У напрямку головного вектора вітру

3.15 електрична мережа (*electrical power network*)

Сукупність установок, підстанцій, ліній або кабелів для передавання та розподілення електроенергії

Примітка. Границі розділу різних частин цієї мережі визначають за відповідними критеріями, такими, як географічне положення, власність, напруга й т. ін.

3.16 аварійне відключення (вітряні турбіни) (*emergency shutdown (wind turbines)*)

Швидке відключення вітряної турбіни, ініційоване системою захисту або ручним втручанням

3.17 умови довкілля (*environmental conditions*)

Характеристики довкілля (висота над рівнем моря, температура, вологість і т. ін.), які можуть впливати на роботу ВТГС

3.18 зовнішні умови (вітряні турбіни) (*external conditions (wind turbines)*)

Чинники, які впливають на роботу вітряної турбіни, включаючи вітровий режим, умови електричної мережі та інші кліматичні чинники (температуру, сніг, кригу і т. ін.)

3.19 екстремальна швидкість вітру (*extreme wind speed*)

Найвища середня швидкість вітру, усереднена за t с, яку ймовірно слід визначити на практиці протягом певного періоду часу N років («рекурентний період»: N років).

Примітка. У цьому стандарті рекурентний період $N = 50$ років і $N = 1$ рік і використано проміжки усереднення часу $t = 3$ с та $t = 10$ хв. Часто використовують не такий точний термін «швидкість вітру виживання». Але в цьому стандарті для проектних видів навантаження турбіну проектують з використанням екстремальної швидкості вітру

3.20 **убезпеченість від пошкодження** (*fail-safe*)

Проектна властивість деталі, яка запобігає її руйнуванню від критичних пошкоджень

3.21 **порив вітру** (*gust*)

Тимчасова зміна швидкості вітру, яку можна охарактеризувати наростанням за часом, амплітудою та тривалістю

3.22 **горизонтально-осьова вітряна турбіна (ГОВТ)** (*horizontal axis wind turbine (HAWT)*)

Вітряна турбіна, в якій вісь ротора, в основному, паралельна вітровому потоку

3.23 **маточина (вітряні турбіни)** (*hub (wind turbines)*)

Затискний пристрій для приєднання лопатей або вузла лопатей до вала ротора

3.24 **висота маточини (вітряні турбіни)** (*hub height (wind turbines)*)

Висота центра ротора вітряної турбіни над поверхнею землі. Для вертикально-осьової вітряної турбіни висота маточини — це висота до центра поверхні обертання ротора

3.25 **режим холостого ходу (вітряні турбіни)** (*idling (wind turbines)*)

Умови роботи вітряного турбогенератора, за яких обертання повільне і енергія не виробляється

3.26 **інерційний діапазон** (*inertial subrange*)

Частотний проміжок спектра турбулентності вітру, де вихорі — після досягнення ізотропії — можуть бути розірвані з незначним розсіянням енергії

Примітка. За умов типової швидкості вітру 10 м/с інерційний діапазон дорівнює приблизно від 0,02 Гц до 2 кГц

3.27 **ізолювана робота** (*isolated operation*)

Стабільна або тимчасова робота окремої частини енергосистеми після розділення мережі

3.28 **граничний стан** (*limit state*)

Стан конструкції та навантажень, що діють на неї, за межами якого конструкція більше не задовольняє проектні вимоги (ISO 2394)

Примітка. Призначення проектних розрахунків (що є проектною вимогою до граничного стану) — підтримати ймовірність досягнення граничного стану нижче встановленого значення, заданого для типу конструкції, яку розглядають (ISO 2394)

3.29 **правило логарифмічного вітрового відхилення** (*logarithmic wind shear law*)

Див. вітровий профіль

3.30 **максимальна потужність (вітряні турбіни)** (*maximum power (wind turbines)*)

Найбільший рівень електричної потужності, яку подає вітряна турбіна в нормальному режимі роботи

3.31 **середня швидкість вітру** (*mean wind speed*)

Статистичне значення миттєвої величини швидкості вітру, усереднене за певний період часу, який може варіюватися від декількох секунд до багатьох років

3.32 **гондола** (*nacelle*)

Корпус, який вміщує привод системи зубчатих передач та інше обладнання на вершині опори горизонтально-осьової вітряної турбіни

3.33 **точка приєднання до електричної мережі (вітряні турбіни)** (*network connection point (wind turbines)*)

Затискачі кабелю окремої вітряної турбіни або, щодо вітряної електростанції, точка приєднання до електричної шини системи збирання електроенергії

3.34 **нормальне відключення (вітряні турбіни)** (*normal shutdown (wind turbines)*)

Відключення, за якого всі етапи перебувають під контролем системи керування

3.35 **робочі межі** (*operating limits*)

Сукупність умов, які визначив конструктор ВТГС, що регулюють дії системи керування та захисту

3.36 **зупинена вітряна турбіна** (*parked wind turbine*)

Залежно від конструкції вітряної турбіни слово «зупинена» стосується турбіни, яка перебуває або в зупиненому стані, або в режимі холостого ходу

3.37 система збирання електроенергії (вітряні турбіни) (power collection system (wind turbines))

Електрично пов'язана система, яка збирає енергію від однієї або кількох вітряних турбін. Вона містить в собі все електричне обладнання, приєднане між затискачами ВТГС і точкою приєднання до електричної мережі

3.38 степеневий закон для вітрового відхилення (power law for wind shear)

Див. вітровий профіль

3.39 вихідна потужність (power output)

Потужність, яку забезпечує агрегат у відповідній формі (механічна, теплова, електрична)

Примітка (вітряні турбіни). Електричну енергію виробляє ВТГС

3.40 система захисту (вітряні турбіни) (protection system (wind turbines))

Система, яка гарантує, що ВТГС залишається в своїх проектних межах

3.41 номінальна потужність (rated power)

Значення потужності, установлені, в основному, виробником для зазначених умов експлуатації компонента, вузла агрегату або обладнання.

Примітка (вітряні турбіни). Максимальна постійна електрична вихідна потужність, на досягнення якої за нормальних умов спроектовано вітряну турбіну

3.42 номінальна швидкість вітру (V_r) (rated wind speed (V_r))

Зазначена швидкість вітру, за якої вітряна турбіна досягає своєї номінальної потужності

3.43 розподіл Релея (Rayleigh distribution)

Функція розподілу ймовірності, див. 3.66 (розподіл швидкості вітру)

3.44 еталонна швидкість вітру (V_{ref}) (reference wind speed (V_{ref}))

Основний параметр швидкості вітру, який використовують для визначення класів ВТГС. Інші проектні параметри, пов'язані з кліматичними умовами, є похідними від еталонної швидкості вітру та інших основних параметрів для класів ВТГС (див. розділ 6).

Примітка. Турбіни, сконструйовані для класу ВТГС з еталонною швидкістю вітру V_{ref} , розроблено для того, щоб витримати такі кліматичні умови, коли екстремальна середня швидкість вітру за 10 хв з рекурентним періодом 50 років на висоті мачини турбіни нижче або дорівнює V_{ref}

3.45 резонанс (resonance)

Явище, що проявляється у вібрувальній системі, період вимушеного коливання якої дуже близький до періоду вільного коливання

3.46 обертово вибраний вектор швидкості вітру (rotationally sampled wind velocity)

Вектор швидкості вітру, визначений дослідженням у фіксованій точці ротора вітряної турбіни, що обертається.

Примітка. Спектр турбулентності обертово вибраного вектора швидкості вітру суттєво відрізняється від нормального спектра турбулентності. Під час обертання лопаті розрізає вітровий потік, який змінюється у просторі. Внаслідок цього вислідний спектр турбулентності матиме відповідну кількість коливань з такими самими частотами обертання та гармоніками

3.47 швидкість ротора (вітряні турбіни) (rotor speed (wind turbines))

Швидкість обертання ротора вітряної турбіни навколо своєї осі

3.48 відстань шорсткості (roughness length)

Екстрапольована висота, на якій середня швидкість вітру стає нульовою, якщо розраховано, що вертикальний профіль вітру буде мати логарифмічне змінювання висоти

3.49 безпечний строк служби (safe life)

Передбачений строк служби із зазначеною ймовірністю катастрофічного руйнування

3.50 планове технічне обслуговування (scheduled maintenance)

Профілактичне технічне обслуговування, яке провадять відповідно до встановленого часового графіка

3.51 граничний стан експлуатаційної надійності (serviceability limit state)

Граничний стан, який відповідає критеріям, що регулюють нормальне функціонування (ISO 2394)

3.52 зупинка (standstill)

Стан, коли ВТГС зупинено

3.53 підтримувальна конструкція (вітряні турбіни) (support structure (wind turbines))

Частина вітряної турбіни, яка складається з опори та фундаменту

3.54 швидкість вітру виживання (survival wind speed)

Відома назва максимальної швидкості вітру, яку за проектом має витримувати конструкція

3.55 площа обмаху (swept area)

Площа проекції кола, уздовж якого рухаються кінці лопатей ротора під час обертання, на площину, перпендикулярну вектору швидкості вітру

3.56 інтенсивність турбулентності (turbulence intensity)

Відношення стандартного відхилення швидкості вітру до середнього значення швидкості вітру, обчисленого з однієї серії вимірювання швидкості вітру за визначений період часу

3.57 масштабний параметр турбулентності (turbulence scale parameter)

Довжина хвилі, коли безрозмірна поздовжня спектральна щільність потужності дорівнює 0,05.

Примітка. Таким чином, довжину хвилі визначають як $L_1 = V_{hub}/f_0$, де $f_0 S_1(f_0)/\sigma_1^2 = 0,05$

3.58 крайній граничний стан (ultimate limit state)

Граничний стан, який, зазвичай, відповідає потужності, що несе максимальне навантаження (ISO 2394)

3.59 позапланове технічне обслуговування (unscheduled maintenance)

Технічне обслуговування, яке провадять не відповідно до встановленого часового графіка, а після одержання показань щодо стану деталі

3.60 противітровий (upwind)

У напрямку, протилежному до головного вектора вітру

3.61 вертикально-осьова вітряна турбіна (vertical axis wind turbine)

Вітряна турбіна, в якій вісь ротора вертикальна

3.62 розподіл Вейбулла (Weibull distribution)

Функція розподілу ймовірності (див. 3.66, розподіл швидкості вітру)

3.63 вітряна ферма (wind farm)

Див. 3.64 (вітряна електрична станція)

3.64 вітряна електрична станція (wind power station)

Група або групи вітряних турбогенераторів, які зазвичай називають вітряною фермою

3.65 вітровий профіль — правило вітрового відхилення (wind profile — wind shear law)

Математичний вираз для розрахункових змін швидкості вітру на висоті відносно земної поверхні.

Примітка. Профілі, які найчастіше використовують, є логарифмічні профілі (1) або профілі степеневого закону (2).

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

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

де $V(z)$ — швидкість вітру на висоті z ;

z — висота відносно земної поверхні;

z_r — еталонна висота відносно земної поверхні, яку використовують для відповідного профілю;

z_0 — відстань шорсткості;

α — показник степеня вітрового відхилення (або степеневого закону)

3.66 розподіл швидкості вітру (*wind speed distribution*)

Функція розподілу ймовірності, використовувана для описування швидкості вітру протягом визначеного періоду часу.

Примітка. Функції розподілу, які часто використовують, є функції Релея $P_R(V_0)$ або Вейбулла $P_W(V_0)$.

$$\begin{aligned} P_R(V_0) &= 1 - \exp\left[-\pi(V_0/2V_{ave})^2\right], \\ P_W(V_0) &= 1 - \exp\left[-(V_0/C)^k\right], \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{при } V_{ave} = \begin{cases} C\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \\ C\frac{\sqrt{\pi}}{2}, \text{ якщо } k = 2 \end{cases}, \quad (4)$$

де $P(V_0)$ — функція інтегральної ймовірності, тобто ймовірності того, що $V < V_0$;

V_0 — швидкість вітру (межа);

V_{ave} — середнє значення V ;

C — масштабний параметр функції Вейбулла;

k — параметр форми функції Вейбулла;

Γ — Гамма-функція.

Як C , так і k можна одержати на основі реальних даних. Функція Релея ідентична функції Вейбулла, якщо вибрано $k = 2$, а також C і V_{ave} задовольняють умови, встановлені у виразі (4) для $k = 2$.

Функції розподілу виражають інтегральну ймовірність того, що швидкість вітру нижча за V_0 . Таким чином, $(P(V_1) - P(V_2))$ у разі обчислення між установленими межами V_1 і V_2 буде показувати період часу, протягом якого швидкість вітру буде в цих межах. Диференціюючи функції розподілу, одержують відповідні функції щільності ймовірності

3.67 вітровий відхил (*wind shear*)

Відхил швидкості вітру в площині, перпендикулярній до напрямку вітру

3.68 показник степеня вітрового відхилу (*wind shear exponent*)

Також загальновідомий як показник степеневого закону, див. 3.65 (вітровий профіль — правило вітрового відхилу)

3.69 швидкість вітру (*wind speed*)

У визначеній точці простору швидкість руху якнайменшої кількості повітря, що оточує цю точку.

Примітка. Швидкість вітру є також модулем локального вектора швидкості вітру (див. 3.71, вектор швидкості вітру)

3.70 вітряна турбогенераторна система (ВТГС) (*wind turbine generator system (WTGS)*)

Система, яка перетворює кінетичну енергію вітру в електричну енергію

3.71 вектор швидкості вітру (*wind velocity*)

Вектор, що вказує напрямок руху якнайменшої кількості повітря навкруг точки, яку розглядають; модуль вектора дорівнює швидкості руху цієї повітряної «посилки» (тобто локальна швидкість вітру).

Примітка. Вектор у будь-якій точці є похідною за часом положення вектора повітряної «посилки», яка проходить через цю точку

3.72 електрична система ВТГС (*WTGS electrical system*)

Усе внутрішнє електричне обладнання ВТГС до затискачів, включаючи затискачі ВТГС, обладнання для заземлення, з'єднання та зв'язки. Включаючи також проводи у ВТГС, які призначені для забезпечення кінця лінії заземлення мережі спеціально для ВТГС

3.73 затискачі ВТГС (*WTGS terminals*)

Точка або точки, вказані постачальником ВТГС, в яких ВТГС можна приєднати до системи збирання електроенергії. Містять з'єднання для передавання енергії та зв'язку

3.74 никання (yawing)

Обертання осі ротора навколо вертикальної осі (тільки для горизонтально-осьових вітряних турбін)

3.75 зміщення осі никання (yaw misalignment)

Горизонтальний відхил осі ротора вітряної турбіни від напрямку вітру.

4 ПОЗНАЧЕННЯ ТА СКОРОЧЕНІ ТЕРМІНИ

4.1 Позначення та одиниці фізичних величин

a	параметр крутизни для моделі нормального відхилу турбулентності	[-]
C	масштабний параметр функції розподілу Вейбулла	[м/с]
Coh	функція когерентності	
D	діаметр ротора	[м]
f	частота	[с ⁻¹]
f_d	проектне значення міцності матеріалу	[-]
f_k	характеристичне значення міцності матеріалу	[-]
F_d	проектна величина навантаження	[-]
F_k	характеристична величина навантаження	[-]
I_{15}	характеристичне значення інтенсивності турбулентності на висоті маточини за 10-хвилинної швидкості вітру 15 м/с	[-]
k	параметр форми функції розподілу Вейбулла	[-]
K	модифікована функція Бесселя	[-]
L	інтегральний масштабний параметр ізотропної турбулентності	[м]
L_e	масштабний параметр когерентності	[м]
L_k	інтегральний масштабний параметр компонента вектора швидкості	[м]
n_i	підрахована кількість циклів утоми в i -тому біні* навантаження	[-]
$N(.)$	кількість циклів до зруйнування як функція напруги (або деформації), наведена аргументом (тобто характеристична S-N крива)	[-]
N	рекурентний період для екстремальних ситуацій	[роки]
ρ	ймовірність виживання	[-]
$P_R(V_0)$	розподіл ймовірності Релея, тобто ймовірність того, що $V < V_0$	[-]
$P_W(V_0)$	розподіл ймовірності Вейбулла	[-]
r	модуль окремої проекції вектора	[м]
s_i	рівень напруги (або деформації), пов'язаний з підрахованою кількістю циклів в i -тому біні	[-]
$S_1(f)$	функція спектральної величини щільності потужності	[м ² /с ²]
S_k	спектр одностороннього вектора швидкості компонента	[м ² /с ²]
T	характеристичний час пориву	[с]
t	час	[с]
V	швидкість вітру	[м/с]
$V(z)$	швидкість вітру на висоті z	[м/с]
V_{ave}	середньорічна швидкість вітру на висоті маточини	[м/с]
V_{50}	величина екстремального когерентного пориву через всю площу обмаху ротора	[м/с]
V_{eN}	очікувана екстремальна швидкість вітру (усереднена за 3 с) з рекурентним періодом N років. V_{e1} та V_{e50} — для 1 та 50 років відповідно	[м/с]
V_{gustN}	найбільша величина пориву з очікуваним рекурентним періодом N років	[м/с]
V_{hub}	швидкість вітру на висоті маточини, усереднена за 10 хв	[м/с]
V_{in}	вмикальна швидкість вітру	[м/с]
V_0	швидкість вітру на межі в моделі розподілу швидкості вітру	[м/с]
V_{out}	вимикальна швидкість вітру	[м/с]
V_r	номінальна швидкість вітру	[м/с]

* Національна примітка
Стосовно терміна біні (bin) див. ДСТУ ІЕС 61400-12 (1.3.14).

V_{ref}	еталонна швидкість вітру, усереднена за 10 хв	[м/с]
$V(y, z, t)$	поздовжній компонент вектора швидкості вітру для описування перехідного стану горизонтального вітрового відхилю	[м/с]
$V(z, t)$	поздовжній компонент вектора швидкості вітру для описування змін перехідного стану для екстремального пориву та умов відхилю	[м/с]
x, y, z	координати системи, які використовують для описування вітрового поля, вздовж вітру (поздовжня), поперек вітру (поперечна) та така, що відповідає висоті	[м]
z_{hub}	висота маточини вітряної турбіни	[м]
z_r	еталонна висота над землею	[м]
z_0	відстань шорсткості для логарифмічного вітрового профілю	[м]
α	показник степеня степеневого закону вітрового відхилю	[-]
β	параметр для моделі екстремальної зміни напрямку	[-]
δ	коефіцієнт відхилю	[-]
Γ	Гамма-функція	[-]
γ_l	коефіцієнт часткової безпеки для навантажень	[-]
γ_m	коефіцієнт часткової безпеки для матеріалів	[-]
γ_n	коефіцієнт часткової безпеки для наслідків пошкоджень	[-]
$\Theta(f)$	перехідний стан змін напрямку вітру	[°]
Θ_{∞}	кут максимального відхилю від напрямку середньої швидкості вітру в умовах пориву	[°]
Θ_{aN}	екстремальна зміна напрямку з рекурентним періодом N років	[°]
Λ_1	масштабний параметр турбулентності, який визначають як довжину хвилі за безрозмірної поздовжньої спектральної щільності потужності, $fS_1(f)/\sigma_1^2$, яка дорівнює 0,05	[м]
σ_1	нормальний відхил поздовжнього вектора швидкості вітру на висоті маточини	[м/с]
σ_k	нормальний відхил ($k = 1, 2$ або 3) складника вектора швидкості вітру на висоті маточини k	[м/с]

4.2 Абревіатури

A	— аномальний (для коефіцієнтів часткової безпеки)
a.c.	— змінний струм
C	— реакція зв'язку експлуатаційної надійності
d.c.	— постійний струм
DLC	— проектний вид навантаження
ECD	— екстремальний когерентний порив зі зміною напрямку
ECG	— екстремальний когерентний порив
EDC	— екстремальна зміна напрямку вітру
EOG	— екстремальний робочий порив
EWM	— модуль екстремальної швидкості вітру
EWS	— екстремальний вітровий відхил
F	— втома
HAWT	— горизонтально-осьова вітряна турбіна
N	— нормальні та екстремальні (для коефіцієнтів часткової безпеки)
NWP	— модель нормального вітрового профілю
NTM	— модель нормальної турбулентності
S	— спеціальний клас IEC BTCS
T	— транспортні та монтажні (для коефіцієнтів часткової безпеки)
U	— граничний
VAWT	— вертикально-осьова вітряна турбіна
WTGS	— вітряна турбогенераторна система

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

- ВОВТ — вертикально-осьова вітряна турбіна
ВТГС — вітряна турбогенераторна система
ГОВТ — горизонтально-осьова вітряна турбіна
з.с. — змінний струм
п.с. — постійний струм

5 ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ

5.1 Загальні положення

У наступних підрозділах наведено інженерні та технічні вимоги для забезпечення конструктивних, механічних, електричних систем та систем керування ВТГС. Цей перелік вимог застосовують до проектування, вироблення, установлення та технічного обслуговування ВТГС і до пов'язаного з цим процесу керування якістю. Крім того, необхідно дотримуватись методів забезпечення, прийнятих у різних технологіях, які застосовують під час монтажу, експлуатації та технічного обслуговування ВТГС.

5.2 Методи проектування

Цей стандарт вимагає використання структурної динамічної моделі для прогнозування проектних навантажень. Цю модель слід використовувати для визначення навантажень для діапазону швидкостей вітру з використанням умов турбулентності та інших екстремальних вітрових умов, описаних у розділі 6, та проектних ситуацій, описаних у розділі 7. Слід проаналізувати всі відповідні комбінації зовнішніх умов та проектних ситуацій. У цьому стандарті мінімальний набір таких комбінацій визначають як види навантаження.

Дані повномасштабного випробування ВТГС можна використовувати для підвищення впевненості в прогнозованих проектних значеннях та для перевірки структурних динамічних моделей та проектних ситуацій.

Перевірку адекватності проекту треба виконувати за допомогою розрахунків та/або випробувань. Якщо під час цієї перевірки використовують результати розрахунків, то слід зазначати зовнішні умови під час випробування для того, щоб відобразити характеристичні значення та проектні ситуації, які описано в цьому стандарті. У разі вибирання умов випробування, включаючи випробувальні навантаження, необхідно враховувати відповідні коефіцієнти безпеки.

5.3 Класи безпеки

ВТГС треба спроектувати відповідно до одного з таких двох класів безпеки:

- нормальний клас безпеки, який застосовують тоді, коли пошкодження призводять до ризику травм персоналу або економічних та соціальних наслідків;
- спеціальний клас безпеки, який застосовують тоді, коли вимоги безпеки визначають за місцевими положеннями та/або коли їх узгодили між собою виробник і покупець.

Коефіцієнти часткової безпеки для нормального класу безпеки ВТГС визначено в 7.6 цього стандарту.

Коефіцієнти часткової безпеки для спеціального класу безпеки ВТГС мають узгодити між собою виробник і покупець. ВТГС, спроектована відповідно до вимог спеціального класу безпеки, — це ВТГС турбін класу S, як це визначено в 6.2.

5.4 Гарантії якості

Гарантія якості має бути невід'ємною частиною проектування, постачання, вироблення, монтажу, експлуатації та технічного обслуговування ВТГС та всіх її компонентів.

Рекомендовано, щоб система якості задовольняла вимоги відповідних публікацій ISO. (див. «Бібліографію» у додатку D).

5.5 Маркування вітряних турбін

Наведена нижче інформація має бути, щонайменше, помітною та чітко наведеною на незмивному маркуванні турбіни, а саме:

- виробник ВТГС і країна;
- модель та серійний номер;

- рік випуску;
- номінальна потужність;
- еталонна швидкість вітру, V_{ref} ;
- робочий діапазон швидкості вітру на висоті маточини, $V_{in} — V_{out}$;
- діапазон робочої температури довкілля;
- клас ІЕС ВТГС (див. таблицю 1);
- номінальна напруга на затискачах ВТГС;
- частота на затискачах ВТГС або діапазон частот у разі, коли номінальний відхил більший ніж 2 %.

6 ЗОВНІШНІ УМОВИ

6.1 Загальні положення

Зовнішні умови, описані в цьому розділі, слід розглядати під час проектування ВТГС.

ВТГС зазнають впливу довкілля та електричних умов, які можуть впливати на їхнє навантаження, строк служби та роботу. Щоб упевнитись у необхідному рівні безпеки та надійності, необхідно враховувати під час проектування та зазначати у проектній документації параметри довкілля, електричні параметри та параметри ґрунту.

Умови довкілля в подальшому поділяють на вітрові та інші умови. Електричні умови відносять до умов електричної мережі. Властивості ґрунту відносять до проектування фундаменту ВТГС.

Кожний тип зовнішніх умов можна підрозділити на нормальні та екстремальні зовнішні умови. Нормальні зовнішні умови взагалі стосуються довгострокового конструкційного навантаження та експлуатаційних умов, тоді як екстремальні зовнішні умови — це рідкі, але потенційно критичні зовнішні проектні умови. У видах проектного навантаження слід передбачити комбінації зовнішніх умов з робочими режимами вітряної турбіни.

Вітрові умови є основними зовнішніми умовами для конструктивної цілісності. Інші умови довкілля також впливають на проектні характерні особливості, зокрема на функціонування системи керування, строк служби, корозію тощо.

У наступних підрозділах описано нормальні та екстремальні умови, які слід розглядати в проекті відповідно до класів ВТГС.

6.2 Класи ВТГС

Зовнішні умови, які слід розглядати в проекті, залежать від передбаченого місця розташування або типу місця розташування для установки ВТГС. Класи ВТГС визначають в показниках швидкості вітру та параметрів турбулентності. Призначення класів — охопити більшість випадків застосування. Значення швидкості вітру та параметрів турбулентності представляють характеристичні значення багатьох різних місць розташування і не дають точної уяви про будь-яке конкретне місце розташування (див. розділ 11). Потрібно створити класифікацію ВТГС з міцністю, яка змінюється та регулюється швидкістю вітру та параметрами турбулентності. У таблиці 1 наведено основні параметри, які визначають класи ВТГС.

У випадках, коли є необхідним спеціальний проект (тобто особливі вітрові умови або інші зовнішні умови, або спеціальний клас безпеки, див. 5.3), визначають подальші класи ВТГС, клас S. Проектні значення для ВТГС класу S вибирає проектувальник і подає в проектній документації. Для таких спеціальних проектів значення, вибрані для проектних умов, мають відображати гірші умови довкілля, ніж ті, що передбачено для звичайного використання ВТГС.

Особливі зовнішні умови офшорних установок потребує проект ВТГС класу S.

Таблиця 1 — Основні параметри для класів ВТГС

Клас ВТГС	I	II	III	IV	S
V_{ref} (м/с)	50	42,5	37,5	30	Значення має встановити проектувальник
V_{ave} (м/с)	10	8,5	7,5	6	
A I_{15} (-)	0,18	0,18	0,18	0,18	
a (-)	2	2	2	2	
B I_{15} (-)	0,16	0,16	0,16	0,16	
a (-)	3	3	3	3	

де значення застосовують на висоті мачочини і

A — установлює категорію для найвищих турбулентних характеристик;

B — установлює категорію для найнижчих турбулентних характеристик;

I_{15} — характеристичне значення інтенсивності турбулентності за швидкості 15 м/с;

a — параметр крутизни, який слід використовувати в рівнянні (7).

Додатково до зазначених основних параметрів потрібно мати деякі інші важливі параметри для повного визначення зовнішніх умов, використовуваних у проекті ВТГС. У разі ВТГС класів від I_A до IV_B, які надалі визначено як стандартні класи ВТГС, значення цих додаткових параметрів наведено в 6.3, 6.4 та 6.5.

Проектний строк служби має бути не менше ніж 20 років.

Для ВТГС класу S виробник має зазначити в проектній документації використані моделі та значення основних проектних параметрів. Показники значень параметрів будуть достатніми там, де прийнято моделі, описані в розділі 6. Проектна документація ВТГС класу S має містити інформаційні дані, які наведено в додатку А.

Скорочення, додані в круглих дужках у заголовках підрозділів, далі в цьому розділі використовують для описування вітрових умов для видів проектного навантаження, визначеного в 7.4.

6.3 Вітрові умови

ВТГС слід спроектовувати так, щоб вона безпечно витримувала вітрові умови, визначені вибраним класом ВТГС.

Проектні значення вітрових умов слід чітко навести в проектній документації.

Під час розгляду навантаження та безпеки вітровий режим поділяють на нормальні вітрові умови, які будуть часто траплятись під час нормальної роботи ВТГС, та екстремальні вітрові умови, які визначено як такі, що мають 1-річний або 50-річний рекурентний період.

У всіх випадках слід передбачати вплив нахилу до 8° середнього потоку відносно горизонтальної площини. Допускають, що кут нахилу потоку буде інваріантним з висотою.

6.3.1 Нормальні вітрові умови

6.3.1.1 Розподіл швидкості вітру

Розподіл швидкості вітру в даному місці є суттєвим для проекту ВТГС, тому що він визначає частоту виявлення характерних умов навантаження. У випадку стандартних класів ВТГС вважають, що середнє значення швидкості вітру за період часу в 10 хвилин буде підлягати розподілу Релея для розрахування проектного навантаження. У цьому випадку розподіл ймовірності на висоті мачочини дають як

$$P_R(V_{hub}) = 1 - \exp\left[-\pi(V_{hub}/2V_{ave})^2\right]. \quad (5)$$

6.3.1.2 Модель нормального вітрового профілю (NWP)

Вітровий профіль $V(z)$ визначає середню швидкість вітру як функцію висоти z відносно поверхні землі. Допускають, що у випадку стандартних класів ВТГС нормальний профіль швидкості вітру буде представлено степеневим законом:

$$V(z) = V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha. \quad (6)$$

Допускають, що показник степеня α степеневого закону буде 0,2.

Допущений вітровий профіль використовують для визначення середнього вертикального вітрового відхилю через площу обмаху ротора.

6.3.1.3 Модель нормальної турбулентності (NTM)

Вираз «вітрова турбулентність» означає стохастичні відхилення у векторі швидкості вітру від 10-хвилинного середнього. Модель турбулентності має включати вплив змінюваної швидкості вітру, змінюваного напрямку та перемінне вибіркове дослідження. Для стандартних класів ВТГС спектральна щільність потужності векторного поля випадкових векторів швидкості вітру, незалежно від того, точно їх використано в моделі чи ні, має задовольняти такі вимоги:

а) Характеристичне значення нормального відхилу поздовжнього складника вектора швидкості слід визначати як ¹⁾:

$$\sigma_1 = I_{15} (15 \text{ м/с} + a V_{\text{hub}}) / (a + 1). \quad (7)$$

Значення для I_{15} та a наведено в таблиці 1.

Характеристичні значення нормального відхилу σ_1 та інтенсивності турбулентності σ_1/V_{hub} показано нижче на рисунку 1 як функцію швидкості вітру для наведених значень I_{15} та a .

Допускають, що нормальний відхил буде інваріантним з висотою.

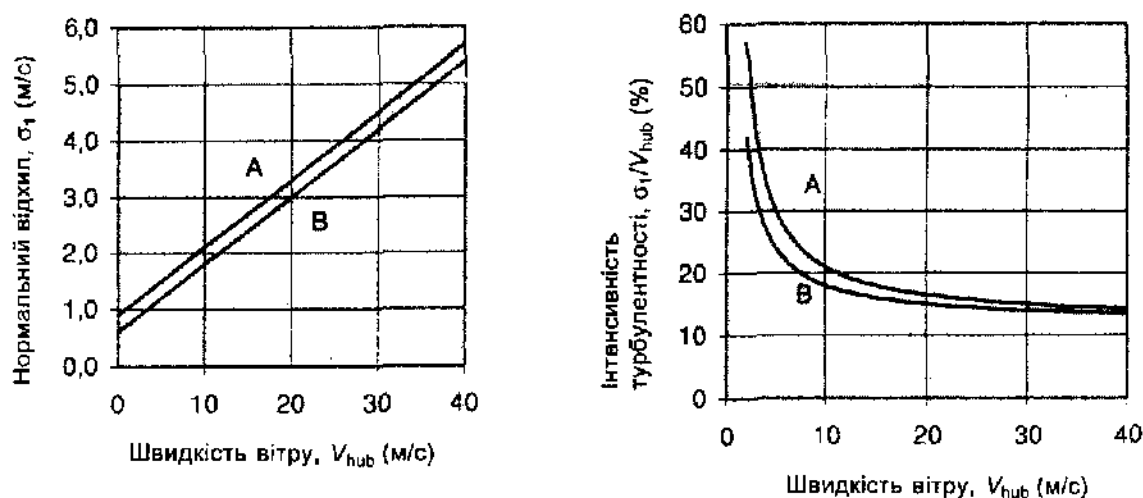


Рисунок 1 — Характеристична турбулентність вітру

б) З наближенням до високочастотного кінця інерційного діапазону спектральна щільність потужності поздовжнього складника турбулентності $S_1(f)$ буде асимптотично наближатись до форми:

$$S_1(f) = 0,05 (\sigma_1)^2 \left(\frac{\Lambda_1}{V_{\text{hub}}} \right)^{-2/3} f^{-5/3}. \quad (8)$$

Масштабний параметр турбулентності Λ_1 слід визначати як:

$$\Lambda_1 = \begin{cases} 0,7 z_{\text{hub}} & \text{для } z_{\text{hub}} < 30 \text{ м} \\ 21 \text{ м} & \text{для } z_{\text{hub}} \geq 30 \text{ м} \end{cases}. \quad (9)$$

Технічні умови для моделей стохастичної турбулентності, які задовольняють ці вимоги, наведено в додатку В. У додатку С наведено спрощену детерміністичну модель, яка ґрунтується на стохастичному описуванні турбулентності. Цю детерміністичну модель можна використовувати в тому випадку, коли можна показати, що чутливість лопатей турбіни до випадково вибраного вектора швидкості вітру суттєво ослаблена. Посібник для підтвердження цього також наведено в додатку С.

6.3.2 Екстремальні вітрові умови

Екстремальні вітрові умови використовують для визначення екстремальних вітрових навантажень на ВТГС. Ці умови включають пікову швидкість вітру під час шторму та швидку зміну у швидкості вітру та напрямку. Ці екстремальні умови включають потенційний вплив турбулентності вітру таким чином, що в проектних розрахунках треба розглядати тільки детерміністичний вплив.

¹⁾ Для виконання розрахунків видів навантаження додатково до тих, що наведено в таблиці 2, можна використовувати різні відсоткові величини. Такі відсоткові величини визначають додаванням значення в рівняння (7), яке подають як:

$$\Delta \sigma_1 = (x - 1)(2 \text{ м/с})/I_{15}.$$

де x визначають із функції нормального розподілу ймовірності. Наприклад, $x = 1,64$ для 95-відсоткової величини.

6.3.2.1 Модель екстремальної швидкості вітру (EWM)

Екстремальна швидкість вітру за 50 років V_{e50} та екстремальна швидкість вітру за один рік V_{e1} мають ґрунтуватись на еталонній швидкості вітру V_{ref} . Для проєктів ВТГС у стандартних класах ВТГС V_{e50} та V_{e1} слід обчислювати як функцію висоти, з використанням таких рівнянь:

$$V_{e50}(z) = 1,4 V_{ref} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^{0,11}, \quad (10)$$

$$V_{e1}(z) = 0,75 V_{e50}(z), \quad (11)$$

де z_{hub} — висота на рівні маточини ²⁾.

Слід допускати короткострокові відхилення від середнього напрямку вітру $\pm 15^\circ$.

6.3.2.2 Екстремальний робочий порив (EOG)

Модуль пориву на висоті маточини V_{gustN} для рекурентного періоду N років для стандартних класів ВТГС одержують з відношення:

$$V_{gustN} = \beta \left(\frac{\sigma_1}{1 + 0,1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right)} \right), \quad (12)$$

де σ_1 — нормальний відхил згідно з рівнянням (7);

Λ_1 — масштабний параметр турбулентності згідно з рівнянням (9);

D — діаметр ротора;

$\beta = 4,8$ для $N = 1$ та $\beta = 6,4$ для $N = 50$.

Швидкість вітру визначають для рекурентного періоду в N років за допомогою виразу:

$$V(z,t) = \begin{cases} V(z) - 0,37 V_{gustN} \sin(3\pi t/T)(1 - \cos(2\pi t/T)) & \text{для } 0 \leq t \leq T \\ V(z) & \text{для } t < 0 \text{ і } t > T, \end{cases} \quad (13)$$

де $V(z)$ визначають з рівняння (6);

$T = 10,5$ с для $N = 1$ та $T = 14,0$ с для $N = 50$.

Наприклад, екстремальний робочий порив з рекурентним періодом в 1 рік, турбулентністю категорії А, діаметром ротора 42 м, висотою маточини на рівні 30 м та $V_{hub} = 25$ м/с показано на рисунку 2.

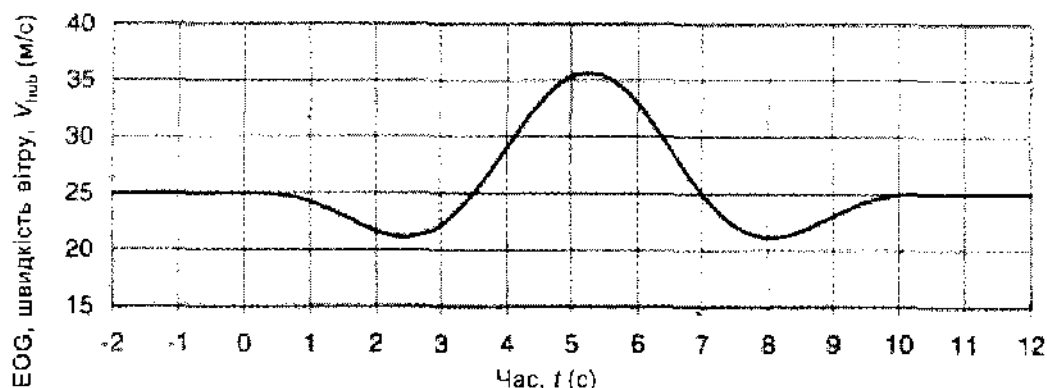


Рисунок 2 — Приклад екстремального робочого пориву
($N = 1$, категорія А, $D = 42$ м, $z_{hub} = 30$ м, $V_{hub} = 25$ м/с)

Значення параметрів для обох рекурентних періодів вибрано так, щоб одержати ту саму максимальну крутизну підймання.

²⁾ Місцеві норми будівельної техніки можуть приписувати відхилення швидкості вітру або динамічного тиску на висоті, яка дещо відрізняється від тієї, яку одержують із співвідношень, зазначених вище.

6.3.2.3 Екстремальна зміна напрямку (EDC)

Модуль екстремальної зміни напрямку Θ_{eN} для рекурентного періоду в N років обчислюють з такого співвідношення:

$$\Theta_{eN}(t) = \pm \beta \arctan \left(\frac{\sigma_1}{V_{hub} \left(1 + 0,1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right) \right)} \right) \quad (14)$$

де Θ_{eN} обмежують до інтервалу $\pm 180^\circ$;

Λ_1 — масштабний параметр турбулентності згідно з рівнянням (9);

D — діаметр ротора;

$\beta = 4,8$ для $N = 1$ та $\beta = 6,4$ для $N = 50$.

Перехідний стан екстремальної зміни напрямку для рекурентного періоду N років $\Theta_N(t)$ одержують зі співвідношень:

$$\Theta_N(t) = \begin{cases} 0 & \text{для } t < 0 \\ 0,5 \Theta_{eN} (1 - \cos(\pi t / T)) & \text{для } 0 \leq t \leq T \\ \Theta_{eN} & \text{для } t > T, \end{cases} \quad (15)$$

де $T = 6$ с — тривалість перехідного стану екстремальної зміни напрямку. Знак слід вибирати так, щоб одержати найбільше навантаження перехідного процесу. Допускають, що в кінці перехідного процесу зміни напрямку напрямок залишиться незмінним. Допускають, що швидкість вітру відповідає нормальному вітровому профілю згідно з 6.3.1.2. моделлю нормального вітрового профілю (NWP).

Наприклад, екстремальну зміну напрямку з рекурентним періодом в 50 років, турбулентністю категорії А, діаметром ротора 42 м, висотою на рівні маччини 30 м та $V_{hub} = 25$ м/с показано на рисунку 3.

6.3.2.4 Екстремальний когерентний порив (EPG)

Для проектів ВТГС стандартних класів ВТГС допускають екстремальний когерентний порив значенням $V_{cg} = 15$ м/с.

Швидкість вітру визначають за допомогою співвідношень:

$$V(z, t) = \begin{cases} V(z) & \text{для } t < 0 \\ V(z) + 0,5 V_{cg} (1 - \cos(\pi t / T)) & \text{для } 0 \leq t \leq T \\ V(z) + V_{cg} & \text{для } t > T, \end{cases} \quad (16)$$

де $T = 10$ с — тривалість підвищення та $V(z)$ — швидкість вітру, наведена в 6.3.1.2.

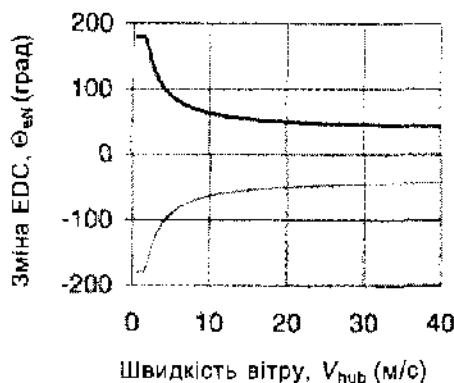


Рисунок 3 — Приклад модуля екстремальної зміни напрямку ($N = 50$, категорія А, $D = 42$ м, $Z_{hub} = 30$ м)

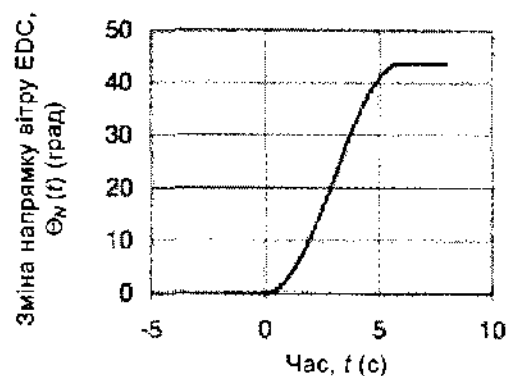


Рисунок 4 — Приклад екстремальної зміни напрямку ($N = 50$, категорія А, $D = 42$ м, $Z_{hub} = 30$ м, $V_{hub} = 25$ м/с)

Модель нормального вітрового профілю використовують як визначено у рівнянні (6). Екстремальний когерентний порив для $V_{hub} = 25$ м/с проілюстровано на рисунку 5.

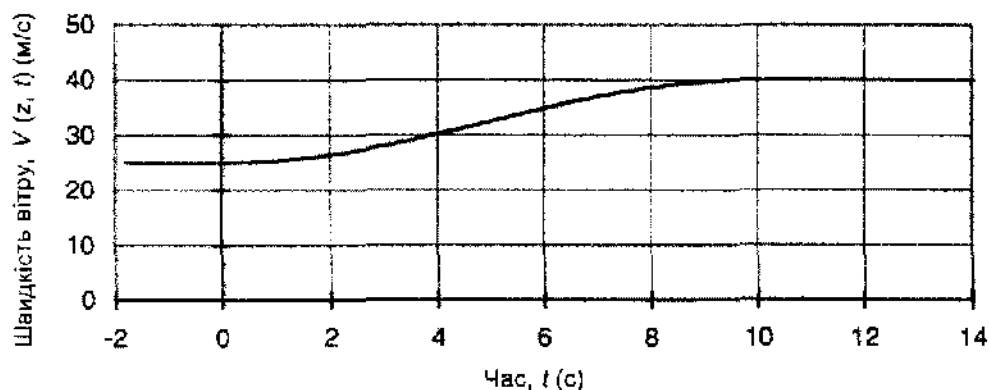


Рисунок 5 — Екстремальний когерентний порив ($V_{hub} = 25$ м/с) (ECG)

6.3.2.5 Екстремальний когерентний порив зі зміною напрямку (ECD)

У цьому випадку допускають, що зростання швидкості вітру (описане ECG, див. рисунок 5) відбувається одночасно зі зміною напрямку Θ_{cg} , де Θ_{cg} визначають зі співвідношень:

$$\Theta_{cg}(V_{hub}) = \begin{cases} 180^\circ & \text{для } V_{hub} < 4 \text{ м/с} \\ \frac{720^\circ \text{ м/с}}{V_{hub}} & \text{для } 4 \text{ м/с} \leq V_{hub} \leq V_{ref}. \end{cases} \quad (17)$$

Потім проводять одночасну зміну напрямку:

$$\Theta(t) = \begin{cases} 0^\circ & \text{для } t < 0 \\ \pm 0,5 \Theta_{cg} (1 - \cos(\pi t/T)) & \text{для } 0 \leq t \leq T \\ \pm \Theta_{cg} & \text{для } t > T, \end{cases} \quad (18)$$

де $T = 10$ с — час зростання.

Необхідно використати модель нормального вітрового профілю, як зазначено в рівнянні (6).

Зміну напрямку Θ_{cg} як функцію V_{hub} та як функцію часу для $V_{hub} = 25$ м/с показано на рисунках 6 та 7, відповідно.

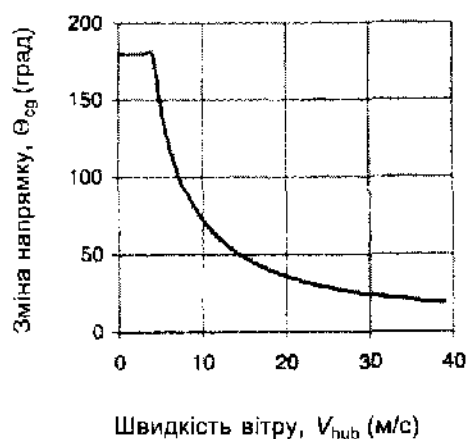


Рисунок 6 — Зміна напрямку для ECD

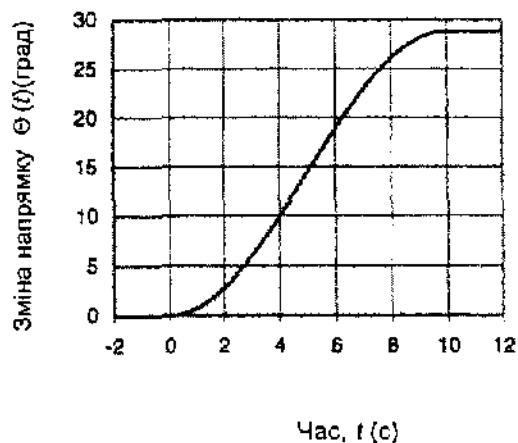


Рисунок 7 — Часовий розвиток зміни напрямку для $V_{hub} = 25$ м/с

6.3.2.6 Екстремальний вітровий відхил (EWS)

Екстремальний вітровий відхил з рекурентним періодом 50 років слід обчислювати з використанням таких двох перехідних станів швидкості вітру:

— для вертикального відхилення в перехідному стані

$$V(z, t) = \begin{cases} V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha + \left(\frac{z - z_{hub}}{D} \right) \left(2,5 + 0,2 \beta \sigma_1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right)^{1/4} \right) \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right) & \text{для } 0 \leq t \leq T \\ V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha & \text{для } t < 0 \text{ і } t > T, \end{cases} \quad (19)$$

— для горизонтального відхилення в перехідному стані

$$V(y, z, t) = \begin{cases} V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha + \left(\frac{y}{D} \right) \left(2,5 + 0,2 \beta \sigma_1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right)^{1/4} \right) \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right) & \text{для } 0 \leq t \leq T \\ V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^\alpha & \text{для } t < 0 \text{ і } t > T, \end{cases} \quad (20)$$

де $\alpha = 0,2$; $\beta = 6,4$; $T = 12$ с;

Λ_1 — масштабний параметр турбулентності згідно з рівнянням (9);

D — діаметр ротора.

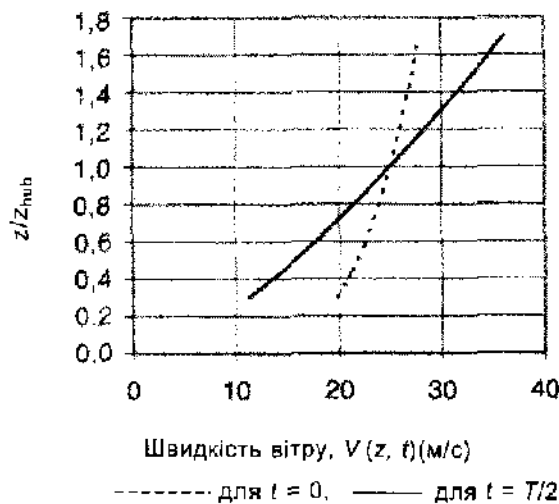


Рисунок 8 — Екстремальний вертикальний вітровий відхил, вітровий профіль до екстремальної події ($t = 0$, пунктирна лінія) та за максимального відхилення ($t = 6$ с, безперервна лінія) ($N = 50$, категорія турбулентності A, $z_{hub} = 30$ м, $V_{hub} = 25$ м/с, $D = 42$ м)

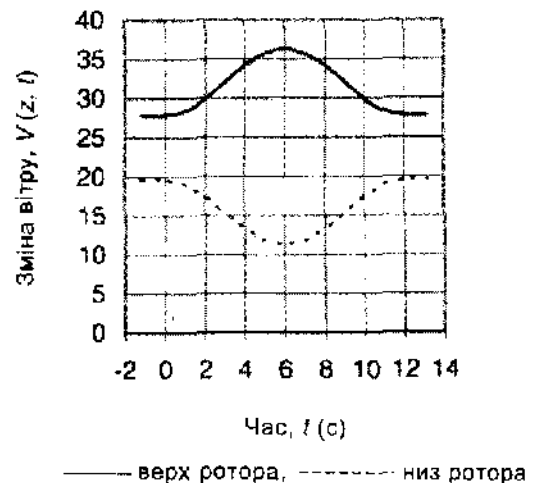


Рисунок 9 — Швидкість вітру відповідно наверху та внизу ротора (ілюструє розвиток вітрового відхилення за часом події (допущення як на рисунку 8))

Знак для перехідного стану горизонтального вітрового відхилення слід вибирати так, щоб одержати найбільше перехідне навантаження. Два екстремальних вітрових відхилення розглядають незалежно один від одного та, більше того, не застосовують одночасно. Наприклад, 50-річний екстремальний вертикальний вітровий відхил, який наведено на рисунку 8, де показано вітрові профілі до екстремальної події ($t = 0$ с) та за максимального відхилення ($t = 6$ с), та на рисунку 9, де показано швидкість вітру на верхівці та внизу ротора для ілюстрації часового розвитку відхилення. На обох рисунках прийнято, що категорія турбулентності A, $V_{hub} = 25$ м/с, $z_{hub} = 30$ м, діаметр ротора $D = 42$ м).

6.4 Інші умови довкілля

Інші, не вітрові, умови довкілля (кліматичні) можуть впливати на цілісність та безпеку ВТГС через термічні, фотохімічні, корозійні, механічні, електричні або інші фізичні впливи. Більше того, комбінації даних кліматичних параметрів можуть підсилити їхній ефект.

Щонайменше, необхідно брати до уваги та відображати в проєктній документації інші умови довкілля, а саме:

- температуру;
- вологість;
- густину повітря;
- сонячне випромінення;
- дощ, град, сніг та кригу;
- хімічні активні речовини;
- механічні активні частки;
- блискавки;
- землетруси;
- солоність.

Умови довкілля в офшорних зонах вимагають спеціального додаткового розгляду.

Кліматичні умови для проєкту слід визначати в термінах характерних величин або через границі змінюваних умов. Вибираючи проєктні величини, необхідно враховувати ймовірність одночасного виникнення кліматичних умов.

Зміни кліматичних умов у межах нормальних границь, які відповідають періоду в один попередній рік, мають не перешкоджати спроектованій нормальній роботі ВТГС.

Якщо нема кореляції, то інші екстремальні умови довкілля згідно з 6.4.2 треба комбінувати з нормальними вітровими умовами згідно з 6.3.1.

6.4.1 Інші нормальні умови довкілля

Значеннями інших нормальних умов, які необхідно враховувати, є:

- діапазон температур довкілля для нормальної роботи системи від мінус 10 °C до плюс 40 °C;
- відносна вологість до 95 %;
- атмосферний вміст, еквівалентний вмісту незабрудненої материкової атмосфери (див. IEC 60721-2-1);
- інтенсивність сонячного випромінення 1000 Вт/м²;
- густина повітря 1,225 кг/м³.

Якщо параметри додаткових зовнішніх умов зазначає проєктувальник, то ці параметри та їхні значення слід установити в проєктній документації і вони мають задовольняти вимоги IEC 60721-2-1.

6.4.2 Інші екстремальні умови довкілля

Іншими екстремальними умовами довкілля, які слід розглянути в проєкті ВТГС, є температура, блискавки, обледеніння та землетруси.

6.4.2.1 Температура

Проєктні значення для екстремального температурного діапазону для стандартних класів ВТГС, щонайменше, мають бути від мінус 20 °C до плюс 50 °C.

6.4.2.2 Блискавки

Забезпечення захисту від блискавки, яке вимагають в 10.6, можна розглядати як таке, що відповідає вимогам для вітряних турбін стандартних класів ВТГС.

6.4.2.3 Крига

Для стандартних класів ВТГС не наведено мінімальні вимоги відносно обледеніння.

6.4.2.4 Землетруси

Для стандартних класів ВТГС не наведено вимоги щодо землетрусів.

6.5 Умови електричної мережі

Нижче перелічено нормальні умови на затискачах ВТГС, які слід розглянути в проєкті.

Нормальні умови електричної мережі застосовують тоді, коли наведені нижче параметри перебувають у межах, установлених нижче діапазонів, а саме:

- Напруга
- Номінальне значення $\pm 10\%$;

— Частота

Номинальне значення $\pm 2\%$;

— Нестійкість напруги

Відношення складника зворотної послідовності напруги до складника прямої послідовності не більше 2% ;

— Перерва в подаванні енергії

Допускають перерви в подаванні енергії від електричної мережі 20 разів на рік. Максимальна тривалість перерви, на яку слід спроектувати турбіну, має бути не менше одного тижня.

7 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ ПРОЕКТ

7.1 Загальні положення

Конструкторський проект вітряної турбіни слід ґрунтувати на контролі структурної цілісності компонентів, які несуть навантаження. Напругу втоми та граничну напругу елементів конструкції слід перевірити розрахунками та/або випробуванням, щоб показати структурну цілісність ВТГС з відповідним рівнем безпеки.

Аналіз конструкції має ґрунтуватись на ISO 2394.

Прийнятний рівень безпеки слід установити та перевірити розрахунками та/або випробуванням, щоб показати, що проектне навантаження не перевищує проектну стійкість.

Розрахунки слід виконувати із застосуванням відповідних методів. Опис методів розрахунку слід навести у проектній документації. Опис має містити в собі підтвердження обґрунтованості цих методів розрахунку або посилання на них для відповідних контрольних досліджень. Рівень навантаження під час будь-яких випробувань має відображати коефіцієнти безпеки у відповідних розрахунках.

7.2 Методологія проектування

Необхідно підтвердити те, що граничні стани не перевищено для даного проекту вітряної турбіни. Випробування моделі та випробування дослідних зразків також можна використовувати як заміну в розрахунку для контролю проекту конструкції, як це показано в ISO 2394³⁾.

7.3 Навантаження

Для проектних розрахунків необхідно розглянути навантаження, описані в пунктах з 7.3.1 до 7.3.4 включно.

7.3.1 Інерційні та гравітаційні навантаження

Інерційними та гравітаційними навантаженнями є статичні та динамічні навантаження, які діють на ВТГС внаслідок вібрації, обертання, гравітації та сейсмічної активності.

7.3.2 Аеродинамічні навантаження

Аеродинамічні навантаження є статичними та динамічними навантаженнями, які зумовлено потоком повітря та його взаємодією із стаціонарними та рухомими частинами ВТГС.

³⁾ ISO 2394 визначає крайні та експлуатаційні граничні стани таким чином: стан конструкції та навантажень, що на неї діють, за межами якого конструкції більше не задовольняють проектні вимоги. Призначення проектних розрахунків — підтримати ймовірність досягнення граничного стану нижче певного заданого значення для даного типу конструкції.

Крайнім граничним станом, наприклад, відповідають:

— втрата рівноваги конструкції або частини конструкції, яку розглядають як нерухомо закріплене тіло (наприклад, перекидання);

— руйнування критичних секцій конструкції, яке обумовлено перевищенням критичної напруги (у деяких випадках знижене повторними навантаженнями) або критичною деформацією матеріалу;

— трансформація конструкції в механізм (колапс), втрата стійкості (згин тощо).

Експлуатаційним граничним станом, наприклад, відповідають:

— деформації, які впливають на ефективне використання або зовнішній вигляд конструкції або неконструкційних елементів;

— надмірні вібрації, які спричиняють дискомфорт або впливають на неконструкційні елементи або обладнання (особливо у випадках резонансу);

— локальне пошкодження (включаючи виникнення тріщин), яке зменшує міцність конструкції або впливає на ефективність або зовнішній вигляд конструкційних і неконструкційних елементів.

Для контролю експлуатаційних граничних станів у проекті слід використовувати одну або більше реакцій зв'язку, які описують допустимі деформації, пришвидшення, ширину тріщин тощо.

Потік повітря залежить від швидкості обертання ротора, середньої швидкості вітру через площину ротора, турбулентності, густини повітря та аеродинамічних профілів компонентів вітряної турбіни та результатів їх взаємодії, включаючи аероеластичні ефекти.

7.3.3 Робочі навантаження

Робочі навантаження — це результат роботи та керування ВТГС. Їх зазначають в окремих категоріях. Це керування швидкістю ротора, зокрема керування обертовим моментом за допомогою зміни кута нахилу лопатей або інших аеродинамічних пристроїв. Вони містять механічні гальма системи приводів та перехідні навантаження, спричинені зупинкою або запуском ротора, включенням або відключенням генератора та навантаження никання.

7.3.4 Інші види навантаження

Можуть бути інші види навантаження, за необхідності їх слід розглянути, зокрема хвильове навантаження, навантаження супутнього струменя, ударне навантаження, крижане навантаження тощо (див. розділ 11).

7.4 Проектні ситуації та види навантаження

Цей підрозділ описує структуру видів проектних навантажень ВТГС і встановлює їх мінімальну кількість для розгляду.

Для проектних цілей строк служби ВТГС можна представити сукупністю проектних ситуацій, які охоплюють найважливіші умови, за яких можна експлуатувати ВТГС.

Види навантаження слід визначити з комбінацій особливих режимів складання, монтажу, технічного обслуговування та робочих або проектних ситуацій із зовнішніми умовами.

Усі відповідні види навантаження з допустимою ймовірністю виявлення слід розглянути разом з реакцією систем керування та захисту.

Взагалі, проектні види навантаження, використаного для визначення структурної цілісності ВТГС, можна обчислювати з таких комбінацій:

- нормальні проектні ситуації та нормальні зовнішні умови;
- нормальні проектні ситуації та екстремальні зовнішні умови;
- аварійні проектні ситуації та відповідні зовнішні умови;
- проектні ситуації транспортування, установлення й технічного обслуговування та відповідні зовнішні умови.

Якщо існує будь-який зв'язок між екстремальними зовнішніми умовами та аварійною ситуацією, їхню реальну комбінацію слід розглянути як вид проектного навантаження.

Для кожної проектною ситуації необхідно розглянути декілька видів проектного навантаження для підтвердження структурної цілісності компонентів ВТГС. Щонайменше, треба розглянути види проектного навантаження з таблиці 2. У цій таблиці наведено види проектного навантаження для кожної проектною ситуації через описування вітрових, електричних та інших зовнішніх умов.

Інші види проектного навантаження, які стосуються безпеки, слід розглянути, якщо цього вимагає спеціальний проект ВТГС.

Для кожної проектною ситуації відповідний тип аналізу позначено літерами «F» та «U» в таблиці 2. «F» стосується аналізу навантажень втоми, який використовують для оцінювання напружності. «U» стосується аналізу критичних навантажень, таких, наприклад, як аналіз перевищення максимальної міцності матеріалу, аналіз відхилення верхівки та аналіз стійкості.

Проектні ситуації, позначені літерою «U», класифікують як нормальні (N), аномальні (A) або транспортні та монтажні (T). Очікують, що нормальні проектні ситуації часто трапляються протягом строку служби турбіни. Турбіна перебуває в нормальному стані або її можна експлуатувати з незначними несправностями чи аномаліями. Ймовірність аномальних проектних ситуацій менша. Вони, зазвичай, пов'язані з проектними ситуаціями із суттєвішими несправностями, зокрема, пошкодженнями системи захисту. Тип проектною ситуації, N, A або T, визначає коефіцієнт часткової безпеки γ для застосування в критичних навантаженнях. Ці коефіцієнти наведено в таблицях 3 та 4 в 7.6.

Якщо діапазон швидкості вітру наведено в таблиці 2, тоді треба розглянути швидкість вітру, яка призводить до найнесприятливіших для проекту турбіни умов. Діапазон можна поділити на ряд бінів, відповідна частина строку служби ВТГС відводиться для кожного біна. У визначенні видів проектного навантаження зроблено посилання на вітрові умови, описані в розділі 6.

Таблиця 2 — Види проектних навантажень

Проектна ситуація	DLC	Вітрові умови *	інші умови	Тип аналізу	Коефіцієнти часткової безпеки
1) Вироблення енергії	1.1	NTM $V_{hub} = V_r$ або V_{out}		U	N
	1.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	*
	1.3	ECD $V_{hub} = V_r$		U	N
	1.4	NWP $V_{hub} = V_r$ або V_{out}	Зовнішнє електричне коротке замикання	U	N
	1.5	EOG ₁ $V_{hub} = V_r$ або V_{out}	Втрати електричного зв'язку	U	N
	1.6	EOG ₅₀ $V_{hub} = V_r$ або V_{out}		U	N
	1.7	EWS $V_{hub} = V_r$ або V_{out}		U	N
	1.8	EDC ₅₀ $V_{hub} = V_r$ або V_{out}		U	N
	1.9	ECG $V_{hub} = V_r$		U	N
2) Вироблення енергії з випадком пошкодження	2.1	NWP $V_{hub} = V_r$ або V_{out}	Пошкодження системи керування	U	N
	2.2	NWP $V_{hub} = V_r$ або V_{out}	Пошкодження системи захисту або попереднє внутрішнє електричне коротке замикання	U	A
	2.3	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Пошкодження системи керування або захисту	F	*
3) Запускання	3.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	*
	3.2	EOG ₁ $V_{hub} = V_{in}, V_r$ або V_{out}		U	N
	3.3	EDC ₁ $V_{hub} = V_{in}, V_r$ або V_{out}		U	N
4) Нормальне зупинення	4.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	*
	4.2	EOG ₁ $V_{hub} = V_r$ або V_{out}		U	N
5) Аварійне зупинення	5.1	NWP $V_{hub} = V_r$ або V_{out}		U	N
6) Зупинення (режими стоянки або холостого ходу)	6.1	EWM $V_{hub} = V_{950}$	Можлива втрата з'єднання з електромережею	U	N
	6.2	NTM $V_{hub} < 0,7 V_{ref}$		F	*
7) Умови зупинення та аварійні умови	7.1	EWM $V_{hub} = V_{91}$		U	A
8) Транспортування, складання, технічне обслуговування та ремонт	8.1	Установлює виробник		U	T
Скорочення див. нижче. * Якщо не визначено вимикальну швидкість вітру V_{out} , слід використовувати значення V_{ref} .					

DLC — проектний вид навантаження

ECD — екстремальний когерентний порив зі зміною напрямку (див. 6.3.2.5)

ECG — екстремальний когерентний порив (див. 6.3.2.4)

EDC — екстремальна зміна напрямку (див. 6.3.2.3)

EOG — екстремальний робочий порив (див. 6.3.2.2)

EWM	— модель екстремальної швидкості вітру (див. 6.3.2.1)
EWS	— екстремальний вітровий відхил (див. 6.3.2.6)
Індекси	— рекурентний період, років
NTM	— модель нормальної турбулентності (див. 6.3.1.3)
NWP	— модель нормального вітрового профілю (див. 6.3.1.2)
F	— втома
U	— граничний
N	— нормальний та екстремальний
A	— аномальний
T	— транспортування та монтаж
*	— коефіцієнт часткової безпеки для втоми (див. 7.6.3)

7.4.1 Вироблення енергії (DLC 1.1—1.9)

У цій проектній ситуації ВТГС працює та приєднана до електричного навантаження. Допустима конфігурація ВТГС має враховувати нестійкість ротора. У проектних розрахунках слід використовувати максимальну масу та аеродинамічну нестійкість (наприклад, кут нахилу лопаті та відхил вигину), зазначені для вироблення ротора.

Крім того, під час аналізу робочих навантажень слід враховувати відхилення від теоретичного оптимуму робочих ситуацій, таких, як зміщення осей никання та похибки стеження системи керування.

У розрахунках треба приймати найгіршу комбінацію умов, наприклад, зміну напрямку зі зміщенням осей характерного никання (DLC 1.8) або порив з втратою електричного зв'язку (DLC 1.5).

Види проектного навантаження DLC 1.1 та 1.2 містять вимоги до навантажень, які з'являються в результаті атмосферної турбулентності. DLC 1.3 та 1.6—1.9 наводять перехідні види, які виділено як потенційно критичні події в терміні служби ВТГС. У DLC 1.4 та 1.5 розглянуто перехідні події через зовнішні навантаження та втрату електричного навантаження.

7.4.2 Вироблення енергії з випадком пошкодження (DLC 2.1—2.3)

Слід взяти до уваги, що під час вироблення енергії може статись будь-яке пошкодження в системі керування або захисту, або внутрішнє коротке замикання в електричній системі, суттєве для навантаження ВТГС (зокрема, коротке замикання генератора).

У разі DLC 2.1 треба проаналізувати випадок пошкодження в системі керування, який розглядають як нормальну подію. У разі DLC 2.2 треба проаналізувати випадок пошкодження в системі захисту або у внутрішній електричній системі, що розглядають як рідкісні події. Якщо пошкодження не зумовлено безпосередньо зупинкою і внаслідок цього навантаження може призвести до суттєвого руйнування від втоми, слід оцінити в DLC 2.3 ймовірну тривалість цієї ситуації.

7.4.3 Запускання (DLC 3.1—3.3)

Ця проектна ситуація містить усі події, які мають своїм результатом навантаження на ВТГС протягом переходів від будь-якої ситуації стоянки або холостого ходу до вироблення енергії.

7.4.4 Нормальне зупинення (DLC 4.1—4.2)

Ця проектна ситуація містить усі події, які мають своїм результатом навантаження на ВТГС під час нормальних перехідних ситуацій, від ситуації вироблення енергії до стоянки або умов холостого ходу.

7.4.5 Аварійне зупинення (DLC 5.1)

Слід розглянути навантаження, які зростають через аварійне зупинення.

7.4.6 Зупинення (стоянка або холостий хід) (DLC 6.1—6.2)

Ротор зупиненої вітряної турбіни, який може бути в умовах або стоянки, або холостого ходу, слід розглядати в умовах екстремальної швидкості вітру. Якщо в деяких компонентах можуть з'явитися суттєві пошкодження від втоми (наприклад, від ваги лопатей у режимі холостого ходу), слід розглянути очікувану кількість годин, коли енергія не виробляється, за кожної відповідної швидкості вітру. Треба враховувати ефект від втрати з'єднання з електромережею на зупиненій турбіні.

7.4.7 Умови зупинення плюс аварійні умови (DLC 7.1)

Відхилення від нормальної поведінки зупиненої ВТГС внаслідок коротких замикань в електричній мережі вимагають аналізу. Якщо будь-яке пошкодження, яке відрізняється від втрати з'єднання

з електромережею, спричинює відхилення від нормальної поведінки ВТГС у ситуаціях зупинення, то слід проаналізувати можливі наслідки. Аварійні умови слід об'єднати в моделі екстремальної швидкості вітру (EWM) з рекурентним періодом один рік.

7.4.8 Транспортування, складання, технічне обслуговування та ремонт (DLC 8.1)

Виробник має встановити всі вітрові умови та проектні ситуації, допустимі під час транспортування, складання, технічного обслуговування та ремонту ВТГС. Максимальні прийняті вітрові умови слід розглянути в проекті, якщо вони можуть призвести до суттєвого навантаження на ВТГС.

7.5 Розрахунки навантаження

Для кожного виду проектного навантаження слід враховувати навантаження, описані в пунктах із 7.3.1 по 7.3.4. За необхідності також слід врахувати:

- викривлення вітрового поля через саму ВТГС (супутній струмінь, індукований вектором швидкості, тінь опори тощо);
- вплив тривимірного потоку на аеродинамічні характеристики лопаті (наприклад, тривимірний зрив потоку та аеродинамічні кінцеві втрати);
- мінливі аеродинамічні ефекти;
- динаміка конструкції та зв'язок вібраційних режимів;
- ефекти аеропружності;
- поведінка системи керування та захисту ВТГС.

7.6 Аналіз крайніх граничних станів

7.6.1 Метод

Коефіцієнти часткової безпеки залежать від невизначеності та непостійності в навантаженнях та матеріалах, невизначеності в методах аналізу та від важливості структурних компонентів, які відповідають за наслідки від несправності.

7.6.1.1 Коефіцієнти часткової безпеки

Щоб прийняти безпечні проектні значення для навантажень та матеріалів, невизначеність та непостійність у навантаженнях та матеріалах охоплюють коефіцієнтами часткової безпеки для навантажень та матеріалів, визначеними у (21) та (22).

$$F_d = \gamma_f F_k, \quad (21)$$

- де F_d — проектне значення для навантаження;
 γ_f — коефіцієнт часткової безпеки для навантаження;
 F_k — характеристичне значення для навантаження. У цьому стандарті альтернативний термін «характерне значення» використано у тих випадках, де характеристичне значення важко оцінити статистично.

$$f_d = \frac{1}{\gamma_m} f_k, \quad (22)$$

- де f_k — проектне значення для матеріалу;
 γ_m — коефіцієнт часткової безпеки для матеріалу;
 f_k — характеристичне значення властивостей матеріалу.
- У цьому стандарті вважають, що коефіцієнти часткової безпеки для навантажень враховують:
- ймовірність несприятливих відхилів навантаження від характеристичного значення;
 - невизначеність у моделі навантаження.
- У цьому стандарті вважають, що коефіцієнти часткової безпеки для матеріалів враховують:
- ймовірність несприятливих відхилів границі міцності матеріалу від характеристичного значення;
 - можливе неточне оцінювання стійкості секцій або здатності частин конструкції витримувати навантаження;
 - невизначеність у геометричних параметрах;
 - невизначеність зв'язку між властивостями матеріалу в конструкції та їхніми показниками, виміряними під час випробування контрольних зразків, тобто невизначеність у перетворенні.

Ці різноманітні невизначеності іноді враховують через середні значення, але в цьому стандарті, як і в більшості інших, коефіцієнти, пов'язані з навантаженням, об'єднано в один коефіцієнт γ_r , а коефіцієнти, пов'язані з матеріалом, — в один коефіцієнт γ_m . Коефіцієнт наслідків пошкодження γ_n введено для визначення відмінностей між такими класами:

Клас компонентів 1: використовують для «безпечних» компонентів конструкції, пошкодження яких не призводить до пошкодження основної частини ВТГС;

Клас компонентів 2: використовують для «небезпечних» компонентів конструкції, пошкодження яких негайно призводить до пошкодження основної частини ВТГС.

Для аналізу крайніх граничних станів ВТГС, якщо це необхідно, слід виконати такі відповідні чотири аналізи:

- аналіз граничної міцності (див. 7.6.2);
- аналіз руйнування від втоми (див. 7.6.3);
- аналіз стійкості (перевертання тощо) (див. 7.6.4);
- аналіз критичних відхилів (механічні, взаємні перешкоди лопатей та опори тощо) (див. 7.6.5).

Загальним рівнянням для неперевищення крайнього граничного стану є:

$$\gamma_n \cdot S(F_d) \leq R(f_d). \quad (23)$$

Кожний тип аналізу вимагає застосування різних аналітичних виразів функцій навантаження, опору, S та R , пов'язаних з різними джерелами невизначеностей через використання коефіцієнтів безпеки.

7.6.1.2 Застосування прийнятих фізичних норм

Для визначення структурної цілісності елементів ВТГС можна використовувати національні та міжнародні проектні норми для відповідних матеріалів. Особливу увагу слід приділити тоді, коли коефіцієнти часткової безпеки з національних та міжнародних проектних норм використовують разом з коефіцієнтами часткової безпеки з цього стандарту. Необхідно переконатись, що рівень безпеки в результаті не буде менший ніж рівень безпеки, заданий у цьому стандарті.

Різні норми розділяють коефіцієнти часткової безпеки для матеріалів γ_m на декілька фізичних коефіцієнтів, які враховують окремі типи невизначеності, наприклад, природну мінливість міцності матеріалу, ступінь керування виробництвом або метод виробництва. Фізичні коефіцієнти, наведені в цьому стандарті, відповідають так званим «загальним коефіцієнтам часткової безпеки для матеріалів», які враховують природну мінливість параметрів міцності. Якщо в нормах наведено коефіцієнти часткової безпеки або використано коефіцієнти зниження до характеристичних значень для розрахунку інших невизначеностей, то їх також треба врахувати.

Індивідуальні норми можуть вибирати різний розклад на множники коефіцієнтів часткової безпеки для перевірки частин проекту, що стосуються навантаження та матеріалів. Заданий тут поділ коефіцієнтів визначено в ISO 2394. Якщо поділ коефіцієнтів у правилах вибору відрізняється від заданого в ISO 2394, потрібне узгодження правил вибору слід враховувати під час перевірки згідно з цим стандартом.

7.6.2 Аналіз граничної міцності

Опір R загалом пов'язано з максимально допустимим проектним значенням опору матеріалу, отже $R(f_d) = f_d$, тоді як функцію S для аналізу граничної міцності загалом визначають як найвищу величину чутливості конструкції в умовах напруженого стану. Для множинних одночасних навантажень рівняння стає:

$$S(\gamma_{r1} F_{k1}, \dots, \gamma_{rn} F_{kn}) \leq \frac{1}{\gamma_m \cdot \gamma_n} \cdot f_k. \quad (24)$$

7.6.2.1 Коефіцієнти часткової безпеки для навантажень

Там, де навантаження з різних джерел можна оцінити окремо, коефіцієнти навантаження повинні мати, щонайменше, значення, наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 — Коефіцієнти часткової безпеки для навантажень γ_f

Джерело навантаження	Несприятливі навантаження			Сприятливі навантаження
	Тип проектного навантаження (див. табл. 2)			Усі проектні ситуації
	Нормальні та екстремальні	Аномальні	Транспортні та монтажні	
Аеродинамічні	1,35	1,1	1,5	0,9
Робочі	1,35	1,1	1,5	0,9
Гравітація	1,1/1,35*	1,1	1,25	0,9
Інші інерційні	1,25	1,1	1,3	0,9

* У випадку, коли масу не визначають зважуванням.

У багатьох випадках, особливо коли змінюване навантаження призводить до динамічних навантажувальних ефектів, навантаження від різних джерел не можна оцінювати окремо. У цих випадках коефіцієнти часткової безпеки для навантаження γ_f треба брати з таблиці 3 як найвищі коефіцієнти часткової безпеки для навантажень у відповідній проектній ситуації.

Як альтернативу обчислення тиску та рівнодійових сил тиску можна виконати поєднанням навантажень, які відповідають характерним або характеристичним значенням. Систематичні зміни невизначених параметрів в основних рівняннях слід зробити так, щоб підтримувати рівень безпеки, посереднім чином визначений через коефіцієнти часткової безпеки для навантажень у таблиці 3.

7.6.2.2 Коефіцієнти часткової безпеки для матеріалів у випадках, коли нема прийнятих проектних норм

Коефіцієнти часткової безпеки для матеріалів слід визначати залежно від адекватності наявних даних випробування властивостей матеріалу. Значення загальних коефіцієнтів часткової безпеки для матеріалів, враховуючи природну мінливість параметрів міцності, мають бути не меншими ніж 1,1, якщо їх застосовано для характерних властивостей матеріалу за 95 % ймовірності виживання p з 95 % довірчою границею. Якщо характерні властивості матеріалу одержано для інших ймовірностей виживання p (але з 95 % довірчою границею) та/або коефіцієнтом зміни δ від 10 % і вище, відповідний загальний коефіцієнт треба брати з таблиці 4. Для одержання глобальних коефіцієнтів часткової безпеки для матеріалів з цього загального коефіцієнта необхідно врахувати для масштабних результатів зменшення допусків через зовнішні впливи, тобто ультрафіолетове випромінювання, вологість та дефекти, які не можна виявити стандартним способом.

Таблиця 4 — Загальні коефіцієнти часткової безпеки для матеріалів за природної мінливості

p %	$\delta = 10$ %	$\delta = 15$ %	$\delta = 20$ %	$\delta = 25$ %	$\delta = 30$ %
99 %	1,02	1,05	1,07	1,12	1,17
98 %	1,06	1,09	1,13	1,20	1,27
95 %	1,10	1,16	1,22	1,32	1,43
90 %	1,14	1,22	1,32	1,45	1,60
80 %	1,19	1,30	1,44	1,62	1,82

Коефіцієнти часткової безпеки для матеріалів щодо наслідків пошкоджень:

Клас компонентів 1: $\gamma_n = 1,0$

Клас компонентів 2: $\gamma_n = 1,0$.

7.6.2.3 Коефіцієнти часткової безпеки для матеріалів у випадках, коли є прийняті проектні норми

Комбіновані коефіцієнти часткової безпеки для навантажень, матеріалів та наслідків пошкоджень, γ_f , γ_m , та γ_n мають бути не меншими ніж ті, які наведено в 7.6.2.1 та 7.6.2.2.

Якщо ймовірність виживання p та коефіцієнт δ не зазначено для матеріалу, то слід прийняти значення $p = 95 \%$ та $\delta = 10 \%$.

7.6.3 Вихід з ладу від втоми

Пошкодження від втоми слід оцінити, використовуючи відповідні розрахунки. Наприклад, у разі правила Мінера граничний стан досягається тоді, коли сумарні дефекти перевищують 1. Тому сумарне пошкодження протягом строку служби турбіни має бути не більше 1.

$$\text{Пошкодження} = \sum_i \frac{n_i}{N(\gamma_m \gamma_n \gamma_f s_i)} \leq 1,0, \quad (25)$$

- де n_i — підрахована кількість циклів втоми в i -тому біні характеристичного спектра навантаження з урахуванням усіх відповідних видів навантажень;
 s_i — рівень тиску (або напруги), пов'язаний з підрахованими циклами в i -тому біні з урахуванням ефектів як середнього, так і циклічного діапазону;
 $N(\cdot)$ — кількість циклів до пошкодження як функція навантаження (або напруги), показано за допомогою аргументу (тобто характеристична $S-N$ крива);
 $\gamma_m, \gamma_n, \gamma_f$ — відповідні коефіцієнти часткової безпеки для матеріалів, наслідків пошкоджень та навантажень у зазначеному порядку.

7.6.3.1 Коефіцієнти часткової безпеки для навантажень

Коефіцієнти часткової безпеки для навантажень γ_f мають дорівнювати 1,0 для всіх нормальних та екстремальних проектних ситуацій.

7.6.3.2 Коефіцієнти часткової безпеки для матеріалів у випадках, коли немає прийнятих проектних норм

Коефіцієнт часткової безпеки для матеріалів γ_m має бути 1,1 за умови, що крива $S-N$ базується на не менше ніж 95 % ймовірностях виживання з 95 % довірчими границями і коефіцієнтом відхилю 10 %. Якщо характеристичні властивості матеріалу одержано для інших ймовірностей виживання p та/або інших коефіцієнтів відхилю δ , то відповідний загальний коефіцієнт безпеки для матеріалів слід брати з таблиці 4. Границю міцності через втому треба визначити зі статистично суттєвої кількості випробувань, а відхили характеристичних значень слід розраховувати для масштабних результатів, допусків, деградації, спричиненої зовнішніми впливами, зокрема ультрафіолетовим випроміненням, та для несправностей, які не можна визначити стандартним способом.

Коефіцієнти часткової безпеки для наслідків пошкодження:

Клас компонентів 1: $\gamma_n = 1,0$.

Клас компонентів 2: $\gamma_n = 1,15$.

7.6.3.3 Коефіцієнти часткової безпеки у випадках, коли є прийняті проектні норми

Комбіновані коефіцієнти часткової безпеки для навантажень, матеріалів та наслідків пошкоджень не мають бути меншими за ті, які наведено в 7.6.3.1 та 7.6.3.2.

Якщо ймовірність виживання p і коефіцієнт δ не зазначено для властивостей матеріалу, то слід прийняти значення $p = 95 \%$ та $\delta = 10 \%$.

7.6.4 Стійкість

Згин або прогин не можуть виявлятися у компоненті конструкції під характерним навантаженням. За умов проектного навантаження тільки частини неубезпечених від пошкодження компонентів, які несуть навантаження, не повинні згинатися або прогинатися. Для всіх інших компонентів за умов цього навантаження може бути пружний прогин.

Мінімальне значення для коефіцієнта часткової безпеки для навантажень γ_f слід вибирати відповідно до 7.6.2.1 для врахування невизначеності в екстремальних навантаженнях.

7.6.5 Аналіз критичних відхилів

Слід перевірити, щоб відхили, що впливають на безпеку ВТГС, не виявились в проектних умовах, які докладно описано в таблиці 2. Однією з найважливіших є перевірка того, що не може статися механічна взаємодія між лопаттю та опорою.

Максимальний пружний відхил у несприятливому напрямку слід визначити для видів навантаження, які описано в таблиці 2, та помножено на комбіновані коефіцієнти часткової безпеки для навантажень, матеріалів та наслідків пошкоджень.

Коефіцієнт часткової безпеки для навантажень

Коефіцієнти часткової безпеки для навантажень γ_f слід вибрати з таблиці 3.

Коефіцієнт часткової безпеки для матеріалів

Коефіцієнт часткової безпеки для матеріалів γ_m слід вибрати згідно з 7.6.2. Особливу увагу треба приділити геометричним невизначеностям і точності методу розрахування відхилу.

Коефіцієнти часткової безпеки для наслідків пошкодження

Клас компонентів 1: $\gamma_n = 1,0$

Клас компонентів 2: $\gamma_n = 1,0$.

Потім пружний відхил слід додати до невідхиленої позиції у найнесприятливішому напрямку й результативну позицію порівняти з вимогами до невзаємодії.

7.6.6 Спеціальні коефіцієнти часткової безпеки

Нижчі коефіцієнти часткової безпеки для навантажень можна використовувати там, де величини навантажень встановлено через вимірювання або аналіз, який підтверджено вимірюваннями для більшого ніж нормальний ступеня впевненості. Значення всіх використаних коефіцієнтів часткової безпеки слід встановити в проектній документації.

8 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ

8.1 Загальні положення

Роботу і безпечність ВТГС потрібно регулювати системою керування та захисту, вимоги до якої викладено в цьому розділі.

Ручне або автоматичне втручання не повинно піддавати ризику функціонування системи захисту. Будь-який пристрій, який допускає ручне втручання, має бути добре видимим та таким, який легко розпізнати через відповідне маркування там, де це необхідно.

Настройку системи керування та захисту слід захистити від несанкціонованого доступу.

Будь-яке одиничне пошкодження в чутливих або активних частинах системи керування не повинно призводити до неправильного спрацювання системи захисту.

8.2 Керування вітряною турбіною

Система керування ВТГС має контролювати роботу активними або пасивними способами й підтримувати робочі параметри в нормальних границях. Якщо можна здійснити режим керування, наприклад, для технічного обслуговування, керування в кожному режимі має переважати над усіма іншими видами керування, за винятком кнопки аварійного зупинення. Вибирати режим треба селектором, який можна блокувати в кожній позиції, що відповідає окремому режиму. Коли деякими функціями керують за допомогою цифр, має бути забезпечено норми доступу для відповідного вибирання функції.

Система керування може регулювати функції або параметри, зокрема:

- обмеження потужності;
- швидкість ротора;
- зв'язок з електричним навантаженням;
- процедури запускання та зупинення;
- зупинення через втрату з'єднання з електричною мережею або з електричним навантаженням;
- межі скручування кабелю;
- вирівнювання за вітром.

8.3 Захист вітряної турбіни

Система захисту має вступити в дію тоді, коли ВТГС не підтримується в межах нормальної роботи внаслідок пошкодження системи керування або впливу внутрішнього або зовнішнього пошкодження, або небезпечної події. Також система захисту має підтримувати ВТГС у безпечних умовах. Рівні активації для системи захисту слід встановити таким чином, щоб вони не перевищували проектні межі.

Система захисту повинна вступити в дію в таких випадках:

- перевищення швидкості;
- генератор перевантажений або несправний;
- надмірні вібрації;

— пошкодження, що призводять до зупинення внаслідок втрати з'єднання з електромережею або навантаженням;

— аномальне скручування кабелю (спричинене обертанням гондоли внаслідок никання).

Систему захисту слід спроектувати для роботи, убезпеченої від пошкоджень. Взагалі система захисту має бути спроможною захистити ВТГС від будь-якого одиничного пошкодження або несправності в джерелі енергії або в будь-якому небезпечному компоненті всередині системи захисту.

Якщо два або більше пошкоджень взаємопов'язано або зумовлено загальною причиною, їх треба трактувати як одиничне пошкодження.

Слід проаналізувати всі ненадлишкові компоненти на граничну міцність, пошкодження від втоми, граничні навантаження та на відповідність технічним умовам 8.4.

8.4 Функціональні вимоги системи захисту та керування

Система захисту має включати в себе одну або більше систем (механічну, електричну або аеродинамічну), здатних привести ротор з будь-якого робочого стану в стан спокою або холостого ходу. Щонайменше одна з них має діяти на низькошвидкісному валу або на роторі ВТГС. Необхідно забезпечити засоби для приведення ротора до повної зупинки із стану небезпечного холостого ходу за будь-якої швидкості вітру, меншої за V_{s1} . Вимкнення будь-якої кнопки аварійної зупинки після її використання має привести до відповідної дії. Вимкнення не повинно призводити до повторного запускання, а повинно тільки дати змогу повторного запускання.

Необхідними є критерії для зниження ризику прихованих пошкоджень. Небезпечні компоненти і системи мають виходити з ладу в безпечних умовах або їхні умови мають автоматично регулюватися, у будь-якому випадку їх пошкодження має призводити до зупинення машини. Безпечні конструкційні компоненти необхідно перевіряти через відповідні проміжки.

На кожному основному робочому місці необхідно забезпечити кнопку аварійного зупинення, яка буде перекидати автоматичну систему керування і призводити до зупинення машини.

У випадку конфліктів захисні функції мають переважати над функціями керування.

Автоматичне повторне запускання вітряної турбіни має бути неможливим, якщо зупинення було ініційовано внутрішньою несправністю або спрацюванням, яке є критичним для безпечності турбіни.

9 МЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ

9.1 Загальні положення

«Механічні системи» ВТГС можуть включати:

— елементи системи зубчатих передач приводу, зокрема коробку(-и) передач, вал(и) та зчеплення;

— допоміжні елементи, такі, наприклад як гальмо(-а), керування кутом нахилу лопаті, привод(и) никання.

Допоміжні елементи можуть приводитись у дію електричними, гідравлічними або пневматичними засобами.

9.2 Помилки збирання

Помилки, що зазвичай трапляються під час складання або ремонту окремих частин, які можуть бути джерелом ризику, має бути унеможливлено завдяки проектуванню таких частин або, якщо це неможливо, за допомогою інформації, що надходить від самих частин та/або від корпусу. Така сама інформація має надходити від частин, що рухаються, та/або їхніх корпусів, причому напрямок руху має бути відомим для уникнення ризику. Будь-яку подальшу інформацію, яка може знадобитись, слід навести в інструкції оператора та настановах з технічного обслуговування.

9.3 Гідравлічна чи пневматична системи

Якщо допоміжні системи приводить у дію гідравлічна або пневматична енергія, то ці системи слід так спроектувати, сконструювати та обладнати, щоб уникнути всіх потенційно небезпечних чинників, пов'язаних з цими видами енергії. У проект слід включити засоби для ізоляції або розрядки акумульованої енергії.

Усі труби та/або шланги, які переносять гідравлічне масло або стиснене повітря, та їхні пристрої слід спроектувати для витримування внутрішніх та зовнішніх напруг, або захистити від них.

Слід вжити застережних заходів, щоб звести до мінімуму ризик аварії, яка виникає внаслідок тріщини.

10 ЕЛЕКТРИЧНА СИСТЕМА

10.1 Загальні положення

«Електрична система» установки (багатожильної) ВТГС складається з усього електричного обладнання, встановленого в кожній окремії ВТГС до затискачів ВТГС та включаючи їх; далі в тексті — «електрична система ВТГС».

Цей стандарт не поширюється на системи збирання енергії.

10.2 Загальні вимоги до електричної системи ВТГС

Усі електричні компоненти та системи мають задовольняти вимоги IEC 60204-1.

Проект електричної системи ВТГС має гарантувати мінімальну небезпеку для людей та тварин, так само як і мінімальну потенційну небезпеку для ВТГС та зовнішньої електричної системи під час роботи та технічного обслуговування ВТГС за всіх нормальних та екстремальних зовнішніх умов, визначених у розділі 6.

Електрична система ВТГС, включаючи все електричне обладнання та компоненти, має відповідати стандартам IEC. В основному проект електричної системи ВТГС має задовольняти вимоги IEC 60364. Для ВТГС, яка містить мережі живлення з номінальною напругою понад 1000 В з.с. або 1500 В п.с., виробник має встановити, які проектні стандарти треба використати. Проект електричної системи має враховувати мінливий характер генерування енергії вітряними турбінами.

Електрична система ВТГС має задовольняти вимоги відповідних стандартів IEC з електромагнітної сумісності, включаючи IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-3, IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-3, IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-5.

10.3 Захисні пристрої

Електрична система ВТГС, додатково до вимог IEC 60364, має містити відповідні пристрої, що гарантують захист від неправильного спрацювання як ВТГС, так і зовнішньої електричної системи, яке може призвести до небезпечних умов або станів.

10.4 Пристрої відключення

Треба мати можливість відключити електричну систему ВТГС від усіх електричних джерел енергії, як це вимагається під час технічного обслуговування та випробовування.

Тільки напівпровідникові пристрої не можна використовувати як пристрої відключення.

Там, де необхідно мати освітлювальні або інші електричні системи для безпеки під час технічного обслуговування, треба мати допоміжні мережі зі своїми власними пристроями відключення, такими, щоб ці мережі могли залишатись увімкненими в той час, коли всі інші мережі вимкнено.

10.5 Система заземлення

Проект ВТГС має включати в себе локальну систему електродів заземлення, щоб задовольняти вимоги IEC 60364 (для коректної роботи електричних установок) та IEC 61024-1 (для захисту від блискавок). Діапазон умов ґрунту, для якого підходить система електродів захисту, треба встановити у проектній документації разом з рекомендаціями стосовно інших можливих умов ґрунту.

Вибір та встановлення обладнання пристроїв заземлення (електроди заземлення, провідники заземлення, основні затискачі та шини заземлення) треба зробити відповідно до IEC 60364-5-54.

Необхідно мати можливість заземлення під час технічного обслуговування будь-якої електричної системи, яка працює під напругою понад 1000 В з.с. або 1500 В п.с.

10.6 Захист від блискавок

Захист ВТГС від блискавок потрібно спроектувати відповідно до IEC 61024-1. Нема необхідності в розширенні захисних критеріїв на всі частини ВТГС за умови, що безпечності ніщо не загрожує.

10.7 Електричні кабелі

Там, де є ймовірність пошкодження кабелів гризунами або іншими тваринами, треба використовувати броньовані кабелі або кабелепроводи. Підземні кабелі слід укладати на відповідній глибині так, щоб їх не могли пошкодити засоби пересування або господарське обладнання. Якщо підземні кабелі не захищено кабелепроводом або трубопроводом, їх треба помітити кабельними оболонками або відповідною маркувальною стрічкою.

10.8 Самозбудження

Будь-яку електричну систему, яка може спричинити самозбудження ВТГС, треба відключити й залишати безпечно відключеною в разі втрати з'єднання з електромережею.

Якщо конденсаторну батарею приєднано паралельно ВТГС, яка з'єднана з електромережею (тобто для коригування коефіцієнта потужності), потрібен відповідний вимикач для відключення конденсаторної батареї щоразу, коли є втрата з'єднання з електромережею, щоб уникнути самозбудження електрогенератора ВТГС. Як альтернатива, якщо конденсатори точно підібрано, достатньо показати, що конденсатори не зумовляють самозбудження.

10.9 Захист від перенапруги

Захист від перенапруги потрібно спроектувати згідно з вимогами IEC 61312-1.

Границі захисту слід спроектувати так, щоб будь-яка перенапряга, що потрапляє на електричне обладнання, не перевищувала межі, установлені рівнями ізоляції обладнання.

10.10 Гармоніки та обладнання електрорегулювання

Обладнання електрорегулювання, зокрема інвертори, електронні контролери потужності та статичні VAR конденсатори потрібно спроектувати так, щоб гармонічні викривлення лінійних струмів та форми напруги не заважали релейному захисту електричної мережі. Особливо стосовно ВТГС, яка приєднана до мережі, гармоніки напруги, вироблені ВТГС, мають бути такими, щоб загальні викривлення форми напруги в точці приєднання до мережі не перевищували допустиму верхню границю в електричній мережі.

11 ОЦІНЮВАННЯ ЗОВНІШНІХ УМОВ

11.1 Загальні положення

ВТГС піддають впливу умов довкілля та електричних умов, які можуть впливати на їхнє навантаження, довговічність та роботу. Додатково до умов довкілля треба враховувати умови ґрунту в місці розташування ВТГС.

Потрібно зважити на те, що властивості довкілля, електричні та ґрунту сприятливіші, ніж ті, які допускає проект ВТГС. Якщо місцеві умови жорсткіші, ніж допущено, необхідно продемонструвати технічну цілісність.

Для офшорної зони завжди необхідні ВТГС з турбінами класу S.

11.2 Оцінювання вітрових умов

Як мінімальна вимога, вітрові умови в місці розташування треба оцінити відповідно до основних параметрів, перелічених нижче в межах, які визначено класами ВТГС:

- еталонна швидкість вітру: V_{ref}
- середньорічна швидкість вітру: V_{ave}
- інтенсивність турбулентності за $V_{hub} = 15$ м/с: I_{15}

де I_{15} — це характеристичне значення інтенсивності турбулентності на висоті маточини за 10-хвилинної середньої швидкості вітру 15 м/с. Характеристичне значення підраховують додаванням виміряних стандартних відхилів інтенсивності турбулентності до виміряного або оціненого середнього значення.

Вітрові умови можна оцінити на основі моніторингових вимірювань, зроблених на місці, записів за тривалий період, місцевих норм або стандартів. Там, де це можливо, місцеві умови треба скоригувати на основі даних місцевих метеорологічних станцій за тривалий період.

Період моніторингу має бути суттєвим для одержання надійних даних, щонайменше, за шість місяців. Там, де сезонні зміни суттєво впливають на вітрові умови, період моніторингу має включати ці явища.

Значення I_{15} потрібно встановити, використовуючи відповідні статистичні технології, які застосовують до виміряних даних, одержаних за умов швидкості вітру понад 10 м/с⁴⁾.

Там, де топографічні або інші місцеві ефекти можуть впливати на інтенсивність турбулентності, ці ефекти потрібно відобразити в даних.

⁴⁾ Візьміть до уваги, наприклад, що коли в даних швидкості вітру є тенденції низької повторюваності, треба бути обережним в оцінюванні інтенсивності турбулентності та інших параметрів.

Характеристики анемометра, вибіркові норми та час усереднення, які використано для одержання даних вимірювання, можуть впливати на оцінення інтенсивності турбулентності. Ці ефекти слід розглянути під час прогнозування інтенсивності турбулентності на основі вимірних даних.

Для складних навколишніх територій вітрові умови треба оцінювати на основі вимірювань, зроблених на місці. Крім того, слід розглянути вплив топографії на швидкість вітру, вітровий профіль, інтенсивність турбулентності та нахил потоку в кожному місці розташування турбіни.

Для ВТГС, які працюють на вітряній фермі, треба розглянути вплив супутніх струменів від машин, що є поряд.

11.3 Оцінювання інших умов довкілля

Для порівняння з допущеннями, зробленими для проекту ВТГС, слід оцінити такі умови довкілля:

- діапазон нормальних та екстремальних температур;
- обледеніння;
- вологість;
- сонячне випромінювання;
- хімічні активні речовини;
- землетруси;
- солоність.

11.4 Оцінювання умов електричної мережі

Потрібно оцінити умови взаємозв'язку між ВТГС та наявною електричною мережею в запропонованому місці, щоб переконатись у сумісності з ВТГС, та, якщо необхідно, будь-якого обладнання між ВТГС та наявною електричною мережею. Вони мають включати, але не бути обмеженими таким:

- нормальна напруга живлення та її амплітуда;
- нормальна частота живлення та її діапазон;
- нестійкість напруги;
- симетричні та несиметричні короткі замикання;
- кількість перебоїв у роботі електричної мережі;
- цикли автоматичного повторного включення;
- повний електричний опір короткому замиканню на затискачах вітряної турбіни;
- навколишнє гармонічне викривлення напруги.

11.5 Оцінювання умов ґрунту

Властивості ґрунту в запропонованому місці треба оцінювати дослідженням та згідно з наявними будівельними нормами.

12 СКЛАДАННЯ, УСТАНОВЛЕННЯ ТА МОНТАЖ

12.1 Загальні положення

Для обладнання ВТГС виробник має забезпечити настанови з чітко описаними вимогами щодо його встановлення. Установлення ВТГС має виконувати відповідно навчений або поінструктований персонал.

Місце розташування обладнання ВТГС має бути підготовленим, технічно облаштованим, розробленим та керованим так, щоб роботу можна було виконати безпечним і ефективним способом. До цього належать процедури щодо запобігання несанкціонованому доступу там, де це необхідно. Оператор має ідентифікувати та усунути наявні та потенційні небезпечні чинники.

Потрібно підготувати перелік планових заходів, а також вести журнали виконання робіт та результатів цих робіт.

Якщо необхідно, персонал, який встановлює обладнання, має використовувати перевірений захист для очей, ніг, слуху та голови. Весь персонал, який підіймається на опори або працює на висоті над землею або поверхнею води, має бути тренованим для такої роботи та використовувати перевірені ремені безпеки, допоміжні засоби для безпечного підймання або інші пристрої для убезпечення. Якщо необхідно, на воді слід використовувати плавучі допоміжні засоби.

Усе обладнання слід підтримувати у справному стані, щоб воно було придатним для виконання задач, для яких призначене. Крани, лебідки та підймальне обладнання, включаючи все приладдя для підвішування, гаки та інші пристрої, мають бути адекватними безпечному підйманню.

Окремо слід розглядати установлення ВТГС у незвичайних умовах, таких, наприклад, як град, блискавка, сильний вітер, землетрус, обледеніння та ін.

У разі, коли опора стоїть без гондоли, слід застосовувати відповідні засоби для запобігання швидкості вітру, критичній для збуджених вихрових поперечних коливань. Критичну швидкість вітру та застережні заходи потрібно включити в настанови щодо встановлення.

12.2 Планування

Складання, монтаж та встановлення ВТГС та пов'язаного з нею обладнання слід планувати в такому порядку, щоб роботу можна було виконувати безпечно і згідно з місцевими та національними положеннями. Там, де це необхідно, під час планування слід розглядати таке:

- правила безпечного виконання земляних робіт;
- детальні креслення та технічні умови робіт та план перевірок;
- правила відповідного оброблення закладених деталей, таких як основа, болти, анкери та сталеві арматури;
- правила для визначення складу бетону, його доставляння, взяття проб, розливання, чистового оброблення та розташування кабелепроводів;
- правила безпеки для підривних робіт;
- технології встановлення опори та інших анкерів;
- технології для гарантії якості.

12.3 Умови встановлення

Під час установлення ВТГС місце її розташування слід обслуговувати таким чином, щоб не було ризику щодо безпеки.

12.4 Доступ до місця розташування

Доступ до місця розташування має бути безпечним та враховувати таке:

- огорожі та маршрут руху;
- рух транспорту;
- покриття доріг;
- ширину доріг;
- зазор між будівлями;
- допустиме вантажопідіймання;
- переміщення обладнання в місці розташування.

12.5 Умови довкілля

Під час установлення треба слідкувати за граничними значеннями умов довкілля, установлені виробником. Необхідно розглядати таке:

- швидкість вітру;
- сніг і кригу;
- температуру довкілля;
- пісок, який завіюється;
- блискавки;
- видимість;
- дощ.

12.6 Документація

Виробник ВТГС має забезпечити креслення, специфікації та інструкції для процедур складання, установлення та підіймання ВТГС. Виробник має забезпечити елементи всіх навантаж, важків, точок підіймання та спеціальних інструментів і методики, необхідні для транспортування та встановлення ВТГС.

12.7 Приймання, транспортування та зберігання

Навантажувально-розвантажувальні роботи та транспортування генератора вітряної турбіни під час установлення слід виконувати обладнанням, придатним для цієї задачі, та згідно з технологією, рекомендованою виробником.

ВТГС часто розміщують на горбкуватій території. Тому важке обладнання треба встановлювати таким чином, щоб воно не могло зсуватись.

Для всіх операцій навантажування-розвантажування та складання найкраще придатна площа, що лежить нижче та годиться за розміром. Якщо це неможливо забезпечити, то важке обладнання слід надійно заблокувати у стабільному положенні.

Там, де є ризик зсування та пошкодження через вітер, лопаті, гондоли, інші аеродинамічні частини та легке пакування слід надійно закріпити тросами та стояками або земляними анкерами.

12.8 Системи основа/анкер

У випадках, зазначених виробником, для безпечного встановлення або складання слід використовувати спеціальні інструменти, затискні пристрої та фіксатори й інші пристрої.

12.9 Складання ВТГС

ВТГС слід складати згідно з інструкціями виробника. Необхідно провести інспекцію для підтвердження належних мастил та стану консервації всіх компонентів.

12.10 Монтаж ВТГС

Монтаж ВТГС має виконувати персонал, навчений та поінструктований з відповідних та безпечних технологій.

Під час монтажу не можна подавати живлення ні на які частини електричної системи ВТГС, якщо цього не вимагає технологія монтажу. У цьому випадку живлення такого обладнання слід здійснювати згідно із записаною процедурою, яку має забезпечити постачальник ВТГС.

Усі елементи, де рух (обертання або переміщення) може призвести до потенційної небезпеки, треба надійно захистити від ненавмисного руху в процесі монтажу.

12.11 Кріпильні деталі та пристрої

Кріпильні деталі, які мають нарізь, та інші пристрої з'єднання, потрібно встановлювати згідно з обертовим моментом, який рекомендовано виробником, та/або за іншими інструкціями. Кріпильні деталі, зазначені як критичні, треба перевірити й слід одержати та використати технології для підтвердження установного обертового моменту та інші вимоги.

Зокрема інспекцію слід провадити для підтвердження такого:

- правильного складання та з'єднання відтяжок, кабелів, повернутих підвісок, стовпів лебідки та інших пристроїв та приладів;
- правильного з'єднання підймальних пристроїв для безпечного монтажу.

12.12 Крани, лебідки та підймальне обладнання

Крани, лебідки та підймальне обладнання, включаючи всі підймальні стропи, гаки та інше приладдя, необхідне для безпечного монтажу, має бути адекватним безпечному підйманню та остаточному розташуванню вантажів.

Інструкції та документація виробника стосовно монтажу та навантажувально-розвантажувальних робіт мають забезпечити інформацією щодо очікуваних навантажень та точки безпечного підймання компонентів та/або вузлів. Усе підймальне обладнання, стропи та гаки мають бути випробуваними та сертифікованими для безпечних вантажів.

13 ВВЕДЕННЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ

13.1 Загальні положення

Процедури введення в експлуатацію, експлуатації, інспектування та технічного обслуговування слід планувати з урахуванням безпеки персоналу та зазначати в настанові з ВТГС.

Проект має включати положення стосовно безпечного доступу для інспектування та технічного обслуговування всіх компонентів.

Вимоги розділу 10 також поширюються на вимірювальне електровимірювальне обладнання, тимчасово встановлене на вітряній турбіні.

Якщо необхідно, робочий персонал і персонал, який провадить технічне обслуговування, мають використовувати засоби захисту очей, ніг, слуху та голови. Весь персонал, який підіймається на опори або працює на висоті над землею або поверхнею води, має бути тренуваним для такої роботи та використовувати перевірені ремені безпеки, допоміжні засоби для безпечного підймання або інші пристрої для безпеки. Якщо необхідно, на воді слід використовувати плавучі допоміжні засоби.

13.2 Введення в експлуатацію

Введення в експлуатацію потрібно проводити відповідно до інструкцій, рекомендованих виробником.

13.2.1 Вмикання живлення

Інструкції виробника мають містити в собі процедури для первісного вмикання живлення електричної системи ВТГС.

13.2.2 Випробування для вводу в експлуатацію

Після встановлення необхідно випробувати ВТГС для підтвердження правильної, безпечної та функціональної роботи всіх пристроїв, органів керування та апаратури і випробувати це згідно з технологією, рекомендованою виробником. Випробування має включати, але не повинно цим обмежуватись:

- безпечне запускання;
- безпечне зупинення;
- безпечне аварійне зупинення;
- безпечне зупинення через надмірні швидкості або характерне моделювання цього;
- функціональні випробування системи захисту.

13.2.3 Записи

Потрібно вести належні записи, які описують випробування, контрольні параметри та результати.

13.2.4 Дії після введення в експлуатацію

Після завершення встановлення та наступної роботи в рекомендований виробником період обкатки, виробник може вимагати виконати вказані ним дії.

Вони можуть включати, але цим не обмежуватись, попереднє навантаження кріпильних деталей, змінення мастил, перевірку інших компонентів на правильність установлення та роботи та належне регулювання контрольних параметрів.

Місце розташування ВТГС треба знову очистити, щоб запобігти небезпечним чинникам та не допустити ерозію.

13.3 Експлуатація

Експлуатацію ВТГС має виконувати персонал, відповідно навчений та поінструктований для цієї діяльності.

Нормальна експлуатація ВТГС оперативним персоналом має бути можливою на рівні землі. Слід забезпечити етикеткою локальне, ручне заглушення автоматичної/дистанційної системи керування.

13.3.1 Настанова з експлуатації

Настанову для оператора має поставляти виробник ВТГС та, за необхідності, до неї треба подати інформацію щодо особливих місцевих умов під час введення в експлуатацію. Настанова має містити:

- граничні стани та опис безпечної роботи системи;
- процедури запускання та зупинення;
- перелік дій у разі аварії;
- план екстрених заходів.

Настанова має бути доступною для оперативного персоналу та персоналу, який провадить технічне обслуговування, і написана мовою, якою оператор зможе прочитати й зрозуміти.

13.3.2 Записи оперативні та технічного обслуговування

Слід вести записи оперативні та технічного обслуговування, в яких має бути таке:

- ідентифікація вітряної турбіни;
- вироблена енергія;
- години роботи;
- години зупинення;
- дата і час повідомлення про несправність;
- дата і час огляду або ремонту;
- причина несправності або огляду;
- вжиті заходи;
- замінені частини.

13.3.3 Позапланове автоматичне зупинення

Після будь-якого позапланового автоматичного зупинення, спричиненого несправністю або неправильним спрацюванням, якщо не зазначено інакше в настанові з експлуатації або інструкціях, оператор має з'ясувати причину до повторного запускання ВТГС. Усі позапланові автоматичні зупинки слід реєструвати. За зовнішніх подій, виявлених як несправності, але не критичних для подальшої безпечності ВТГС, зокрема втрати та відновлення електричного навантаження, можна допускати повернення до нормальної роботи після завершення циклу зупинення.

13.3.4 Зменшена надійність

Потрібно вжити заходів для усунення основної причини будь-якого показання або попередження про аномальну або зменшену надійність.

13.3.5 План робочого порядку дій технологічних процесів

ВТГС треба експлуатувати згідно із записаними технологіями. План має реалізовувати безпечні робочі технології й містити таке:

- настанову виробника з експлуатації;
- експлуатацію електричних систем;
- координацію роботи та технологічного обслуговування;
- процедуру визначення проміжку корисності;
- процедури оброблення обладнання;
- дії за поганої погоди;
- технологію зв'язку та плани у разі аварії.

13.3.6 План дій у разі аварії

Слід зазначити можливі аварійні ситуації, а також приписаний план дій персоналу.

У випадку пожежі або виникнення ризику пошкодження конструкції вітряної турбіни або її компонентів, ніхто не повинен наближатись до ВТГС, поки ризик не буде спеціально оцінено.

Під час підготовки плану дій у випадку аварії слід врахувати, що ризик пошкодження конструкції може зростати через такі ситуації:

- надмірна швидкість;
- умови обледеніння;
- гроза та шторм;
- землетрус;
- обірвані або ненацягнуті проводи відтяжки;
- несправність гальма;
- нестійкість ротора;
- незатягнуті кріпильні деталі;
- дефекти мастила;
- піщані бурі;
- пожежа, повінь;
- інші несправності компонентів.

13.4 Перевірка та технічне обслуговування

13.4.1 Загальні положення

Перевірку та технічне обслуговування ВТГС має виконувати персонал, спеціально навчений або поінструктований з цієї роботи, із зазначеним інтервалом та згідно з настановою з технічного обслуговування ВТГС.

Огорожа, яку спроектовано для захисту персоналу від випадкового контакту з компонентами, що рухаються, має бути нерухомою, якщо частий доступ не передбачає, що вона може бути рухомою.

Огорожа має:

- бути міцною конструкцією;
- не бути простою для обхідного шляху;
- там, де можливо, давати змогу провадити основне технічне обслуговування без розбирання огорожі.

У проєкті слід передбачити можливість використання діагностичного обладнання для знаходження несправностей.

13.4.2 Проектні вимоги

Для забезпечення персоналу під час перевірок та технічного обслуговування в проекті треба передбачити:

- безпечні шляхи доступу та робочі місця для перевірок та технічного обслуговування;
- відповідні засоби для захисту персоналу від випадкових контактів з компонентами, які обертаються, та з рухомими частинами;
- забезпечення рятувальними тросами та рятувальними поясами або іншим відповідним приладдям захисту для підймання або роботи на висоті;
- блокування обертання ротора і механізму никання або іншого механічного руху під час обслуговування, так само як і забезпечення розблокування;
- попереджувальні знаки для проводів під напругою;
- відповідні пристрої для розрядження акумульованої електроенергії;
- необхідний протипожежний захист персоналу;
- запасний вихід з гондоли.

Процедури технічного обслуговування мають вимагати, щоб заходи безпеки охоплювали всі шляхи підходу персоналу до захищених робочих місць, таких як маточина або внутрішня сторона лопаті, що гарантує безпосереднє усвідомлення ситуацій та гарантує порятунок у випадку будь-якої аварії.

13.4.3 Настанова з технічного обслуговування

Для кожної ВТГС має бути настанова з технічного обслуговування, яка містить мінімальні вимоги до технічного обслуговування та порядок дій в аварійних ситуаціях, зазначених виробником ВТГС. Настанова має також забезпечувати проведення позапланового технічного обслуговування.

У настанові з технічного обслуговування слід вказувати частини, які піддаються зносу, та наводити критерії для їх заміни.

Крім того, настанова має охоплювати такі питання:

- опис підсистем ВТГС та їх експлуатація;
- графік змащування, який приписує частоту змащування та види мастил або будь-яких інших олив;
- процедура введення в експлуатацію після ремонту або резерву;
- період і процедура проведення перевірок технічного обслуговування;
- процедури функціональних перевірок підсистем захисту;
- повна схема електропроводки та взаємозв'язків;
- перевірка відтяжок-тросів та плани їх утримування, перевірка болтів та переднавантажувальні графіки перевірки, включаючи перевірки напруженого стану та обертового моменту навантаження;
- процедури діагностики та інструкцію з визначення сейсмічної небезпеки;
- рекомендований список запасних частин;
- визначення місця монтажу та креслення установки;
- перелік інструментів.

ДОДАТОК А
(обов'язковий)

ПРОЕКТНІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ ОПИСУ ВТГС КЛАСУ S

Для турбін ВТГС класу S у проектній документації потрібно навести таку інформацію:

Параметри машини:

Номінальна потужність	[кВт]
Робочий діапазон швидкості вітру на висоті мачини $V_{in} — V_{out}$	[м/с]
Проектний строк служби	[роки]

Вітрові умови

Характеристична інтенсивність турбулентності як функція середньої швидкості вітру	
Середньорічна швидкість вітру	[м/с]
Середній кут нахилу потоку	[град]
Розподіл швидкості вітру (Вейбулла, Релея, виміряний, інший)	
Модель і параметри вітрового профілю	
Модель і параметри турбулентності	
Екстремальні швидкості вітру V_{e1} та V_{e50} на висоті мачини	[м/с]
Модель і параметри екстремального пориву для 1 та 50-річного рекурентних інтервалів	
Модель і параметри екстремальної зміни напрямку для 1 та 50-річного рекурентних інтервалів	
Модель і параметри пориву екстремального ступеня	
Модель і параметри екстремального когерентного пориву зі зміною напрямку	
Модель і параметри екстремального вітрового відхилу	

Умови електричної мережі

Нормальна напруга живлення та амплітуда	[В]
Нормальна частота живлення та діапазон	[Гц]
Нестійкість напруги	[В]
Максимальна тривалість перерв у роботі електричної мережі	[дні]
Кількість перерв у роботі електричної мережі	[1/рік]
Цикли автоматичного повторного включення (опис)	
Поведінка під час симетричних та несиметричних зовнішніх коротких замикань (опис)	

Інші умови довкілля (ті, які враховують)

Проектні умови в разі офшорних ВТГС (глибинні умови, хвильові умови та ін.)	
Нормальний та екстремальний діапазон температур	[°C]
Відносна вологість повітря	[%]
Густина повітря	[кг/м ³]
Сонячне випромінювання	[Вт/м ²]
Дощ, град, сніг, обледеніння	
Хімічні активні речовини	
Механічні активні частки	
Опис системи захисту від блискавок	
Модель і параметри землетрусу	
Солоність	[г/м ³]

ДОДАТОК В
(обов'язковий)

СТОХАСТИЧНІ МОДЕЛІ ТУРБУЛЕНТНОСТІ

Для розрахунків проектного навантаження можна використовувати стохастичні моделі турбулентності, які наведено нижче. Вони задовольняють вимоги, наведені в 6.3.1. Допускають, що флуктуації вектора швидкості турбулентності будуть випадковим вектором поля, чиї складники мають середньонульову статистику Гауса. Спектральні щільності потужності, які описують складники, наведені в межах спектральної моделі Кеймела, моделі експоненціальної когерентності або за допомогою ізотропної моделі Вон Кармена.

Спектральна модель Кеймела

Спектральну щільність потужності складників наводять у нерозмірній формі за допомогою рівняння:

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

де f — частота, Гц;
 k — індекс, який стосується напрямку складника вектора швидкості (тобто 1 — поздовжній, 2 — поперечний та 3 — вертикальний);
 S_k — односторонній спектр складника вектора швидкості;
 σ_k — нормальне відхилення складника вектора швидкості (див. рівняння (B.2));
 L_k — інтегральний масштабний параметр складника вектора швидкості;
та за умови:

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

Спектральні параметри турбулентності наведено в таблиці B.1.

Таблиця B.1 — Спектральні параметри турбулентності для моделі Кеймела

	Індекс складника вектора швидкості (k)		
Нормальний відхил σ_k	σ_1	$0,8 \sigma_1$	$0,5 \sigma_1$
Інтегральний масштаб L_k	$8,1 L_1$	$2,7 L_1$	$0,66 L_1$

У цьому стандарті зазначено, що σ_1 та L_1 є параметри нормального відхилення та масштабу турбулентності відповідно.

Модель експоненціальної когерентності

Наступну модель експоненціальної когерентності можна використовувати у сполученні з автоспектральною моделлю Кеймана для врахування просторової кореляції структури поздовжнього складника вектора швидкості:

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

де $\text{Coh}(r, f)$ — функція когерентності, визначена за допомогою комплексного значення щільності поперечного спектра поздовжніх складників вектора швидкості вітру у двох просторових точках, розділених за допомогою автоспектральної функції;
 r — значення проекції вектора розділення між двома точками на площину, перпендикулярну середньому напрямку вітру;
 f — частота, Гц;
 $L_c = 3,5 L_1$ — масштабний параметр когерентності.

Ізотропна модель турбулентності Вон Кармена

Спектр поздовжнього складника вектора швидкості в цьому разі подають нерозмірним рівнянням:

$$\frac{f S_1(f)}{\sigma_1^2} = \frac{4 f L / V_{hub}}{(1 + 71 (f L / V_{hub})^2)^{5/6}}, \quad (B.4)$$

де f — частота, Гц;

$L = 3,5 \Lambda_1$ — ізотропний інтегральний масштабний параметр;

σ_1 — поздовжній нормальний відхил на висоті маточини.

Поперечний та вертикальний спектри рівні між собою, їх подають у нерозмірній формі за допомогою:

$$\frac{f S_2(f)}{\sigma_2^2} = \frac{f S_3(f)}{\sigma_3^2} = 2 f L / V_{hub} \cdot \frac{1 + 189 (f L / V_{hub})^2}{(1 + 71 (f L / V_{hub})^2)^{11/6}}, \quad (B.5)$$

де L — такий самий ізотропний параметр, як і той, що використовують у (B.4);

$\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_1$ — складники нормального відхилення вектора швидкості.

Когерентність визначають через:

$$\text{Coh}(r, f) = \frac{2^{1/6}}{\Gamma(5/6)} \left(x^{5/6} K_{5/6}(x) - 0,5 x^{11/6} K_{11/6}(x) \right), \quad (B.6)$$

де x — $2 \pi ((f \cdot r / V_{hub})^2 + (0,12 r / L)^2)^{0,5}$;

r — відстань між двома фіксованими точками;

L — ізотропний інтервальний масштаб турбулентності;

$\Gamma(.)$ — Гамма-функція;

$K_{(.)}(.)$ — порядок факторіалу, модифікована функція Бесселя.

Рівняння (B.6) можна апроксимувати за допомогою експоненціальної моделі, поданої в рівнянні (B.3) з L_c , заміненим на ізотропний масштабний параметр L .

ДОДАТОК С
(обов'язковий)

ДЕТЕРМІНІСТИЧНИЙ ОПИС ТУРБУЛЕНТНОСТІ

Якщо режими вітряної турбіни і, особливо, режими вібрації ротора, суттєво послаблено (демпфовано), то для турбулентності в нормальних вітрових умовах можна використовувати таку детерміністичну модель. Значимість послаблення можна перевірити, використовуючи просту стохастичну модель для обертово вибраного вектора швидкості вітру. У цій простій верифікаційній моделі, незалежний, нескорельований випадковий приріст з нормальним відхилом 5 % від середнього послідовно додають до середньої швидкості вітру для кожної лопаті в кожний період часу в динамічній імітаційній моделі вітряної турбіни. Вважають, що кожна лопать буде повністю занурена у відповідне миттєве поле вектора швидкості. Потім аналізують часові вибірки модельованої лопаті, які відповідають перемінним відхилам кінця лопаті та згинального моменту в корні (ті, що хлопають, та ті, що ріжуть). Цей аналіз складається з визначення відношення амплітуд вищих гармонік до основної амплітуди за частоти обертання. Якщо всі ці відношення менші ніж 1,5, то можна використати таку детерміністичну модель:

Поздовжній складник вектора швидкості:

$$\begin{aligned} V_1(y, z, t) = & V(z) + A_1 \sin(2\pi f_1 t) + \\ & + A_2 y \sin(2\pi[f_2 t + 1/4 \sin(2\pi f_3 t)]) + \\ & + A_3 z \sin(2\pi[f_4 t + 1/4 \cos(2\pi f_5 t)]), \end{aligned} \quad (C.1)$$

де (y, z) — горизонтальна та вертикальна координати точки на поверхні обмаху ротора вітряної турбіни з початком у центрі ротора.

Поперечний складник вектора швидкості:

$$V_2(t) = A_4 \sin(2\pi[f_4 t + 1/4 \sin(2\pi f_5 t)]). \quad (C.2)$$

Можна допустити, що поперечний складник вектора швидкості буде незмінним на всій площі обмаху ротора.

Для попередньої моделі вектора швидкості вітру параметри амплітуди та частоту наведено в таких співвідношеннях:

Параметри амплітуди:

$$A_1 = 2,0 \sigma_1$$

$$A_2 = A_1/D$$

$$A_3 = 0,8 A_1$$

Параметри частоти:

$$f_4 = 0,0194 V_{hub}/\Lambda_1$$

$$f_2 = 4,0 f_1$$

$$f_3 = f_1/10,0$$

$$f_4 = 0,6 f_1$$

$$f_5 = f_4/10,0,$$

де σ_1 — нормальний відхил швидкості вітру на висоті маточини;

Λ_1 — масштабний параметр турбулентності;

V_{hub} — середня за 10 хв швидкість вітру на висоті маточини;

D — діаметр ротора турбіни.

Необхідно зазначити, що поперечний та поздовжній складники вектора швидкості разом визначають миттєву швидкість вітру на висоті маточини та напрямок, використовуючи співвідношення:

$$\begin{aligned} V_{hub}(t) = & \left((V_1(0,0,t))^2 + (V_2(t))^2 \right)^{0,5}, \\ \Theta_{hub}(t) = & \arctan \frac{V_2(t)}{V_1(0,0,t)}. \end{aligned} \quad (C.3)$$

ДОДАТОК D

(довідковий)

БІБЛІОГРАФІЯ

У проектах вітряних турбін необхідно дотримуватись таких стандартів:

IEC 60034 Rotating electrical machines

IEC 60038:1983 IEC standard voltages

IEC 60146 Semiconductor convertors

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

IEC 60227 Polyvinyl chloride insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V

IEC 60245 Rubber insulated cables — Rated voltages up to and including 450/750 V

IEC 60269 Low-voltage fuses

IEC 60287 Electric cables — Calculation of the continuous current rating (100 % load factor)

IEC 60439 Low-voltage switchgear and controlgear assemblies

IEC 60446:1989 Identification on 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

ISO 4354:1997 Wind actions on structures

ISO 8930:1987 General principles on reliability for structures — List of equivalent terms

ISO 9001:1994 Quality systems — Model for quality assurance in design/development, production, installation and servicing

ISO 9002:1994 Quality systems — Model for quality assurance in production, installation and servicing

ISO 9003:1994 Quality systems — Model for quality assurance in final inspection and test

НАЦІОНАЛЬНЕ ПОЯСНЕННЯ

IEC 60034 Обертові електричні машини

IEC 60038:1983 Стандартні напруги, прийняті IEC

IEC 60146 Напівпровідникові перетворювачі

IEC 60173:1964 Кольори жил гнучких кабелів і шнурів

IEC 60227 Кабелі з полівінілхлоридною ізоляцією на номінальні напруги до 450/750 В включно

IEC 60245 Кабелі з гумовою ізоляцією. Номінальні напруги до 450/750 В включно

IEC 60269 Низьковольтні плавкі запобіжники

IEC 60287 Електричні кабелі. Розрахунок номінального струму (коефіцієнт навантаження 100 %)

IEC 60439 Низьковольтні комплектні пристрої розподілу та керування

IEC 60446:1989 Позначення провідників кольорами та цифрами

IEC 60529:1989 Ступені захисту, які забезпечуються оболонками (IP код)

IEC 60617 Умовні графічні позначення в схемах

IEC 60755:1983 Загальні вимоги до пристроїв захисту, які спрацьовують від залишкового струму

IEC 60898:1995 Електротехнічні допоміжні пристрої. Автоматичні вимикачі для захисту від надлишкового струму

ISO 4354:1997 Дія вітру на будівлі (будівельних спорудах)

ISO 8930:1987 Загальні принципи будівельних конструкцій. Перелік відповідних термінів

ISO 9001:1994 Системи якості. Модель забезпечення якості для проектування, розроблення, виробництва, монтажу та обслуговування

ISO 9002:1994 Системи якості. Модель забезпечення якості для виробництва, монтажу та обслуговування

ISO 9003:1994 Система якості. Модель забезпечення якості для контролю готової продукції та її випробування

ДОДАТОК НА
(довідковий)

ПОРІВНЯЛЬНА ТАБЛИЦЯ ВИЗНАЧЕНЬ

Визначення за стандартом IEC 61400-1 «Вітрові турбогенераторні системи. Частина 1. Вимоги безпеки»	Визначення за стандартом ДСТУ 3896-99 «Вітроенергетичні установки та вітроелектричні станції. Терміни та визначення»
система керування (control system) (вітрові турбіни) Підсистема, яка приймає інформацію про умови вітряної турбіни та/або довкілля і регулює вітряну турбіну для підтримання її в режимах експлуатації	система керування ВЕУ Автоматична система, яка приймає інформацію (про стан і роботу механізмів та систем ВЕУ, а також іншу інформацію), обробляє її за заданою програмою та забезпечує запускання, підтримування робочих параметрів ВЕУ та її зупинення в аварійних ситуаціях згідно з установленою програмою
вмикальна швидкість вітру (V_{in}) (cut-in wind speed) (V_{in}) Мінімальна швидкість вітру на висоті мачочини, за якої вітряна турбіна починає виробляти енергію для подальшого використання	вмикальна швидкість вітру для ВЕУ Найменша швидкість вітру, за якої ВЕУ починає виробляти електроенергію
вимикальна швидкість вітру (V_{out}) (cut-out wind speed) (V_{out}) Максимальна швидкість вітру на висоті мачочини, за якої вітряна турбіна запроектована виробляти енергію для подальшого використання	вимикальна швидкість вітру для ВЕУ Найбільша швидкість вітру, за якої ВЕУ перестає виробляти електроенергію, щоб запобігти пошкодженню конструкції
гондола (nacelle) Корпус, який вміщує привод системи зубчатих передач та інше обладнання на вершині опори горизонтально-осьової вітряної турбіни	гондола Складова частина ВУГО, установлювана на вершині опору ВУ, в якій розташовують вузли кріплення вала ротора, трансмісію, генератор та/або інші елементи
номінальна потужність (rated power) Потужність, установлена, в основному, виробником для зазначених умов експлуатації компонента, вузла агрегату або обладнання	номінальна потужність ВЕУ Потужність, значення якої установлено виробником для певної швидкості вітру за конкретних атмосферних умов
площа обмаху (swept area) Площа проекції кола, уздовж якого рухаються кінці лопатей ротора під час обертання, на площину, що перпендикулярна вектору швидкості вітру	площа обмаху ротора Площа проекції поверхні, яку утворює лопать ротора ВУГО за один повний оберт, на площину, перпендикулярну осі обертання ротора
вітряна електрична станція (wind power station) Група або групи вітряних турбогенераторів, які зазвичай називають вітряною фермою	вітрова електрична станція Група ВЕУ (або окрема ВЕУ), устаткування і споруди, які розташовані на одній території, функційно зв'язані між собою і становлять єдиний комплекс, призначений виробляти електроенергію, перетворюючи кінетичну енергію вітру в електричну
никання (yawing) Обертання осі ротора навколо вертикальної осі (тільки для горизонтально-осьових вітряних турбін)	никання [виник] (ВУГО) Відхилення [відхил] осі ротора ВУ від напрямку повітряного потоку в горизонтальній площині під час роботи

27.180

Ключові слова: вітряні турбогенераторні системи, вимоги безпеки, коефіцієнти часткової безпеки, системи керування та захисту, класи безпеки, вітрові умови, види навантаження, граничні стани.