

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 10687-1:2015

IEC 61400-1:2014

Xuất bản lần 1

TUABIN GIÓ - PHẦN 1: YÊU CẦU THIẾT KẾ

Wind turbines - Part 1: Design requirements

HÀ NỘI - 2015

Mục lục

	Trang
Lời nói đầu	4
Lời giới thiệu	5
1 Phạm vi áp dụng	7
2 Tài liệu viện dẫn	7
3 Thuật ngữ và định nghĩa	9
4 Ký hiệu và các từ viết tắt	19
5 Các yếu tố chính	22
6 Điều kiện bên ngoài	24
7 Thiết kế và kết cấu	36
8 Hệ thống điều khiển và bảo vệ	53
9 Hệ thống cơ khí	55
10 Hệ thống điện	58
11 Đánh giá tuabin gió đối với các điều kiện vị trí cụ thể	60
12 Lắp ráp, lắp đặt và lắp dựng	67
13 Vận hành thử, vận hành và bảo trì	70
Phụ lục A (quy định) – Các tham số thiết kế để mô tả tuabin gió cấp S	76
Phụ lục B (tham khảo) – Các mô hình luồng xoáy	78
Phụ lục C (tham khảo) – Đánh giá tải động đất	83
Phụ lục D (tham khảo) – Luồng rẽ khí và luồng xoáy trang trại gió	84
Phụ lục E (tham khảo) – Dự báo phân bố gió đối với các vị trí tuabin gió bằng các phương pháp đo lường so sánh dự báo (MCP)	87
Phụ lục F (tham khảo) – Ngoại suy thống kê các tải đối với phân tích sức bền giới hạn	89
Phụ lục G (tham khảo) – Phân tích môi sử dụng quy tắc Miner có ngoại suy tải	99
Phụ lục H (tham khảo) – Các tải đồng thời	104
Thư mục tài liệu tham khảo	107

Lời nói đầu

TCVN 10687-1:2015 hoàn toàn tương đương với IEC 61400-1:2014;

TCVN 10687-1:2015 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC/E1
Máy điện và khí cụ điện biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường
Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Lời giới thiệu

Tiêu chuẩn này đưa ra các yêu cầu thiết kế tối thiểu cho các tuabin gió mà không nhằm sử dụng như một bản thông số kỹ thuật thiết kế hoàn chỉnh hay hướng dẫn sử dụng.

Bất kỳ yêu cầu nào của tiêu chuẩn này đều có thể thay đổi nếu có thể chứng tỏ một cách thích hợp rằng an toàn của hệ thống không bị ảnh hưởng. Tuy nhiên, quy định này không áp dụng cho việc phân loại và các định nghĩa kèm theo của các điều kiện bên ngoài nêu trong Điều 6. Việc phù hợp với tiêu chuẩn này không hỗ trợ cho bất kỳ người nào, tổ chức nào hay tập đoàn nào về trách nhiệm tuân thủ các quy định pháp luật khác.

Tiêu chuẩn này không nhằm đưa ra các yêu cầu đối với các tuabin gió được lắp đặt ngoài khơi, đặc biệt đối với các kết cấu đỡ.

Bộ Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 10687, *Tuabin gió* được xây dựng trên cơ sở chấp nhận hoàn toàn IEC 61400 do Ban kỹ thuật Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN/TC/E1 *Máy điện và khí cụ điện* xây dựng. Bộ TCVN 10687 (IEC 61400) hiện đã có các tiêu chuẩn sau:

- 1) TCVN 10687-1:2015 (IEC 61400-1:2014), *Tuabin gió – Phần 1: Yêu cầu thiết kế*
- 2) TCVN 10687-24:2015 (IEC 61400-24:2010), *Tuabin gió – Phần 24: Bảo vệ chống sét*

Ngoài ra bộ tiêu chuẩn IEC 61400 còn có các tiêu chuẩn sau:

- 1) IEC 61400-2:2013, *Wind turbines - Part 2: Small wind turbines*
- 2) IEC 61400-3:2009, *Wind turbines - Part 3: Design requirements for offshore wind turbines*
- 3) IEC 61400-4:2012, *Wind turbines - Part 4: Design requirements for wind turbine gearboxes*
- 4) IEC 61400-11:2012, *Wind turbines - Part 11: Acoustic noise measurement techniques*
- 5) IEC 61400-12-1:2005, *Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines*
- 6) IEC 61400-12-2:2013, *Wind turbines - Part 12-2: Power performance of electricity-producing wind turbines based on nacelle anemometry*
- 7) IEC TS 61400-13:2001, *Wind turbine generator systems - Part 13: Measurement of mechanical loads*
- 8) IEC TS 61400-14:2005, *Wind turbines - Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values*
- 9) IEC 61400-21:2008, *Wind turbines - Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines*
- 10) IEC 61400-22:2010, *Wind turbines - Part 22: Conformity testing and certification*
- 11) IEC 61400-23:2014, *Wind turbines - Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades*

TCVN 10687-1:2015

- 12) IEC 61400-25-1:2006, Wind turbines - Part 25-1: Communications for monitoring and control of wind power plants - Overall description of principles and models
- 13) IEC 61400-25-2:2015, Wind turbines - Part 25-2: Communications for monitoring and control of wind power plants - Information models
- 14) IEC 61400-25-3:2015, Wind turbines - Part 25-3: Communications for monitoring and control of wind power plants - Information exchange models
- 15) IEC 61400-25-4:2008, Wind turbines - Part 25-4: Communications for monitoring and control of wind power plants - Mapping to communication profile
- 16) IEC 61400-25-5:2006, Wind turbines - Part 25-5: Communications for monitoring and control of wind power plants - Conformance testing
- 17) IEC 61400-25-6:2010, Wind turbines - Part 25-6: Communications for monitoring and control of wind power plants - Logical node classes and data classes for condition monitoring
- 18) IEC 61400-26-1:2011, Wind turbines - Part 26-1: Time-based availability for wind turbine generating systems
- 19) IEC 61400-26-2:2014, Wind turbines - Part 26-2: Production-based availability for wind turbines
- 20) IEC 61400-27-1:2015, Wind turbines - Part 27-1: Electrical simulation models - Wind turbines

Tuabin gió –

Phần 1: Yêu cầu thiết kế

Wind turbine –

Part 1: Design requirements

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định các yêu cầu thiết yếu về thiết kế để đảm bảo tính toàn vẹn kỹ thuật của tuabin gió. Tiêu chuẩn này nhằm cung cấp mức bảo vệ thích hợp chống hư hại do các nguy cơ bất kỳ trong suốt tuổi thọ dự kiến.

Tiêu chuẩn này có liên quan đến tất cả các hệ thống phụ trợ của tuabin gió như các cơ cấu điều khiển và bảo vệ, các hệ thống điện bên trong, các hệ thống cơ khí và các kết cấu đỡ.

Tiêu chuẩn này áp dụng cho tất cả các tuabin gió có kích cỡ khác nhau. Đối với tuabin gió nhỏ, có thể áp dụng IEC 61400-2.

Tiêu chuẩn này cần được sử dụng cùng với các tiêu chuẩn thích hợp đề cập trong Điều 2.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau đây là cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu ghi năm công bố, áp dụng bản được nêu. Đối với các tài liệu không ghi năm công bố, áp dụng phiên bản mới nhất (bao gồm cả các sửa đổi).

TCVN 4173 (ISO 281), *Ó lăn – Tải trọng động và tuổi thọ danh định*

TCVN 7447 (IEC 60364) (tất cả các phần), *Hệ thống lắp đặt điện hạ áp*

TCVN 7447-5-54 (IEC 60364-5-54), *Hệ thống lắp đặt điện của các tòa nhà – Phần 5-54: Lựa chọn và lắp đặt thiết bị điện – Bố trí nối đất, dây bảo vệ và dây liên kết bảo vệ*

TCVN 7921-2-1 (IEC 60721-2-1), *Phân loại điều kiện môi trường – Phần 2-1: Điều kiện môi trường xuất hiện trong tự nhiên – Nhiệt độ và độ ẩm*

TCVN 8029:2009 (ISO 76:2006), *Ó lăn – Tải trọng tĩnh danh định*

TCVN 9888-3 (IEC 62305-3), *Bảo vệ chống sét – Phần 3: Thiệt hại vật chất đến kết cấu và nguy hiểm tính mạng*

TCVN 9888-4 (IEC 62305-4), *Bảo vệ chống sét – Phần 4: Hệ thống điện và điện tử bên trong kết cấu*

TCVN 10687-1:2015

TCVN 10687-24 (IEC 61400-24), *Tuabin gió – Phần 24: Bảo vệ chống sét*

IEC 60204-1, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements* (An toàn máy – Thiết bị điện của máy – Phần 1: Yêu cầu chung)

IEC 60204-11, *Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 11: Requirements for HV equipment for voltages above 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. and not exceeding 36 kV* (An toàn máy – Thiết bị điện của máy – Phần 11: Yêu cầu đối với thiết bị cao áp có điện áp trên 1 000 V xoay chiều hoặc 1 500 V một chiều nhưng không vượt quá 36 kV)

IEC 61000-6-1, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-1: Generic standards – Immunity for residential, commercial and light-industrial environments* (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 6-1: Tiêu chuẩn chung – Miễn nhiệm đối với môi trường khu dân cư, thương mại và công nghiệp nhẹ)

IEC 61000-6-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments* (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 6-2: Tiêu chuẩn chung – Miễn nhiệm đối với môi trường công nghiệp)

IEC 61000-6-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-4: Generic standards – Emission standard for industrial environments* (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 6-4: Tiêu chuẩn chung – Tiêu chuẩn phát xạ đối với môi trường công nghiệp)

IEC 61400-2, *Wind turbines – Part 2: Small wind turbines* (Tuabin gió – Phần 2: Yêu cầu thiết kế đối với tuabin nhỏ)

IEC 61400-21, *Wind turbines – Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines* (Tuabin gió – Phần 21: Đo và đánh giá các đặc trưng chất lượng điện năng tuabin gió nối lưới)

ISO 2394:1998, *General principles on reliability for structures* (Nguyên lý chung về độ tin cậy đối với kết cấu)

ISO 2533:1975, *Standard Atmosphere* (Khí quyển tiêu chuẩn)

ISO 4354, *Wind actions on structures* (Tác động của gió lên kết cấu)

ISO 6336-2, *Calculation of load capacity of spur and helical gears - Part 2: Calculation of surface durability (pitting)* (Tính toán khả năng tải của các bánh răng trụ tròn và bánh răng xoắn ốc – Phần 2: Tính toán độ bền bề mặt (rỗ mòn))

ISO 6336-3:2006, *Calculation of load capacity of spur and helical gears - Part 3: Calculation of tooth bending strength* (Tính toán khả năng tải của các bánh răng trụ tròn và bánh răng xoắn ốc – Phần 3: Tính toán cường độ chịu uốn răng)

ISO 81400-4, *Wind turbines - Part 4: Design and specification of gearboxes* (Tuabin gió – Phần 4: Thiết kế và thông số kỹ thuật của hộp số)

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa sau.

3.1

Trung bình hàng năm (annual average)

Giá trị trung bình của tập hợp các dữ liệu đo được có quy mô và thời gian đủ để ước lượng giá trị kỳ vọng của một đại lượng. Khoảng thời gian trung bình phải là một số nguyên của năm để lấy trung bình của các đại lượng thay đổi ví dụ như thay đổi theo mùa.

3.2

Tốc độ gió trung bình hàng năm (annual average wind speed)

$V_{a,n}$

Tốc độ gió được lấy trung bình theo định nghĩa trung bình hàng năm.

3.3

Chu kỳ tự động đóng lại (auto-reclosing cycle)

Sự kiện diễn ra trong một khoảng thời gian, thay đổi từ xấp xỉ 0,01 s đến vài giây, trong thời gian đó máy cắt mở ra sau sự cố lưới sẽ tự động đóng lại và đường dây được nối lại vào lưới.

3.4

Khóa (tuabin gió) (blocking (wind turbines))

Sử dụng chốt cơ khí hoặc cơ cấu khác (không phải cơ cấu hãm cơ khí thông thường) mà không thể bị nhả ra một cách không chủ ý để ngăn không cho chuyển động, ví dụ khóa trục rôto hoặc cơ cấu xoay tuabin.

3.5

Phanh (tuabin gió) (brake (wind turbines))

Thiết bị có thể làm giảm tốc độ rôto hoặc làm dừng quay.

CHÚ THÍCH: Phanh có thể vận hành theo các nguyên lý khí động học, cơ hoặc điện.

3.6

Giá trị đặc trưng (characteristic value)

Giá trị có xác suất quy định đối với việc không đạt được (tức là xác suất vượt quá sẽ nhỏ hơn hoặc bằng một giá trị quy định).

3.7

Địa hình phức tạp (complex terrain)

Địa hình xung quanh đặc trưng bởi những thay đổi đáng kể về địa thế và các chướng ngại địa hình có thể gây ra sai lệch luồng gió.

3.8

Chức năng điều khiển (tuabin gió) (control functions (wind turbines))

Các chức năng của hệ thống điều khiển và bảo vệ dựa trên thông tin về tình trạng của tuabin gió và/hoặc môi trường, để điều chỉnh tuabin duy trì trong giới hạn hoạt động.

3.9

Tốc độ gió đóng mạch (cut-in wind speed)

V_{in}

Tốc độ gió thấp nhất ở độ cao của hub mà tại đó tuabin gió bắt đầu phát điện trong trường hợp gió ổn định không có luồng xoáy.

3.10

Tốc độ gió ngắt mạch (cut-out wind speed)

V_{out}

Tốc độ gió mạnh nhất ở độ cao của hub mà tại đó tuabin gió được thiết kế để dừng phát điện trong trường hợp gió ổn định không có luồng xoáy.

3.11

Giới hạn thiết kế (design limits)

Các giá trị tối đa và tối thiểu được sử dụng trong thiết kế.

3.12

Lỗi không ảnh hưởng (dormant failure)

Lỗi của một thiết bị hoặc hệ thống mà không ảnh hưởng trong quá trình hoạt động bình thường.

3.13

Xuôi gió (downwind)

Hướng của vectơ gió chính.

3.14

Mạng điện (electrical power network)

Hệ thống lắp đặt, trạm điện, các đường dây hoặc cáp riêng để truyền tải và phân phối điện.

CHÚ THÍCH: Ranh giới các phần khác nhau của mạng này được xác định bởi các tiêu chí phù hợp, ví dụ như tình trạng địa lý, quyền sở hữu, điện áp, v.v...

3.15

Dừng khẩn cấp (tuabin gió) (emergency shutdown (wind turbines))

Việc dừng nhanh tuabin gió được kích hoạt bởi chức năng bảo vệ hoặc can thiệp bằng tay.

3.16**Điều kiện môi trường (environmental conditions)**

Đặc trưng của môi trường (gió, độ cao, nhiệt độ, độ ẩm, v.v...) có thể ảnh hưởng đến hoạt động của tuabin gió.

3.17**Điều kiện bên ngoài (tuabin gió) (external conditions (wind turbines))**

Các yếu tố ảnh hưởng đến hoạt động của tuabin gió, gồm các điều kiện môi trường (nhiệt độ, tuyết, băng, v.v...) và các điều kiện của lưới điện.

3.18**Tốc độ gió cực trị (extreme wind speed)**

Giá trị tốc độ gió cao nhất, lấy trung bình trong t (giờ), có xác suất vượt quá hàng năm là $1/N$ ("tần suất xuất hiện" : N năm).

CHÚ THÍCH: Trong tiêu chuẩn này, sử dụng các tần suất xuất hiện $N = 50$ năm và $N = 1$ năm và khoảng thời gian trung bình $t = 3$ s và $t = 10$ min. Trong ngôn ngữ phổ thông, thường sử dụng thuật ngữ ít chính xác hơn là tốc độ gió chịu được. Tuy nhiên, trong tiêu chuẩn này, tuabin được thiết kế bằng cách sử dụng tốc độ gió cực trị đối với các trường hợp tải thiết kế.

3.19**Hỏng an toàn (fail-safe)**

Thuộc tính thiết kế của một bộ phận sao cho việc hỏng hóc không gây ra các sự cố nghiêm trọng.

3.20**Gió giật (gust)**

Sự thay đổi tốc độ gió nhất thời.

CHÚ THÍCH: Gió giật có thể được đặc trưng bởi thời gian tăng, độ lớn và khoảng thời gian tồn tại.

3.21**Tuabin gió trục ngang (horizontal axis wind turbine)**

Tuabin gió có trục rôto về cơ bản là nằm ngang

3.22**Hub (tuabin gió) (hub (wind turbines))**

Bộ phận để gắn các cánh hoặc cụm cánh vào trục rôto.

3.23**Chiều cao của hub (tuabin gió) (hub height (wind turbines))**

Z_{hub}

Chiều cao của tâm vùng quét của rôto tuabin gió so với bề mặt địa hình. (xem 3.51, diện tích quét).

3.24

Không tải (tuabin gió) (idling (wind turbines))

Tình trạng của tuabin gió quay chậm và không phát điện.

3.25

Vùng quán tính (inertial sub-range)

Khoảng tần số của phổ nhiễu loạn, ở đó sau khi đạt được đẳng hướng, luồng xoáy sẽ tan rã liên tục với năng lượng tiêu tán không đáng kể.

CHÚ THÍCH: Tại tốc độ gió điển hình 10 m/s, vùng quán tính nằm trong khoảng từ 0,2 Hz đến 1 kHz.

3.26

Trạng thái giới hạn (limit state)

Trạng thái của kết cấu và các tải tác động lên nó, mà vượt quá nó thì kết cấu sẽ không còn đáp ứng các yêu cầu thiết kế.

[ISO 2394, đã sửa đổi]

CHÚ THÍCH: Mục đích của các tính toán thiết kế (tức là yêu cầu thiết kế đối với trạng thái giới hạn) là nhằm giữ xác suất của trạng thái giới hạn đạt được thấp hơn giá trị nhất định được quy định cho loại kết cấu đang xét (xem 2.2.9 của ISO 2394).

3.27

Định luật trượt gió logarit (logarithmic wind shear law)

Xem 3.62.

3.28

Tốc độ gió trung bình (mean wind speed)

Trung bình theo thống kê của giá trị tức thời của tốc độ gió được lấy trung bình trong khoảng thời gian cho trước có thể thay đổi từ vài giây đến nhiều năm.

3.29

Vỏ tuabin (nacelle)

Vỏ chứa hệ thống truyền động và các phần tử khác trên đỉnh cột tháp tuabin gió trục ngang.

3.30

Điểm nối lưới (tuabin gió) (network connection point (wind turbines))

Các đầu nối cáp của một tuabin gió riêng lẻ hoặc điểm kết nối đến thanh cái của hệ thống thu gom điện năng tại chỗ của nhà máy điện gió.

3.31.

Mất điện lưới (network loss)

Việc mất điện lưới trong giai đoạn vượt quá khả năng dự phòng của hệ thống điều khiển tuabin.

3.32**Dừng bình thường (tuabin gió) (normal shutdown (wind turbines))**

Việc dừng trong đó tất cả các giai đoạn đều nằm trong tầm kiểm soát của hệ thống điều khiển.

3.33**Giới hạn vận hành (operating limits)**

Tập hợp các điều kiện được nhà thiết kế tuabin gió quy định để không chế kích hoạt hệ thống điều khiển và bảo vệ.

3.34**Tuabin gió dừng (parked wind turbine)**

Tùy thuộc vào thiết kế tuabin gió, dừng có nghĩa là tuabin ở trạng thái đứng yên hoặc không tải.

3.35**Hệ thống thu gom điện năng (tuabin gió) (power collection system (wind turbines))**

Hệ thống thu gom điện năng từ một hoặc nhiều tuabin gió. Hệ thống này bao gồm tất cả các thiết bị điện được nối giữa các đầu nối tuabin gió và các điểm nối lưới.

3.36**Định luật công suất đối với trượt gió (power law for wind shear)**

Xem 3.62.

3.37**Công suất ra (power output)**

Công suất được phân phối bằng một thiết bị theo một dạng cụ thể và cho mục đích cụ thể.

CHÚ THÍCH: (tuabin gió) Công suất điện được phân phối bởi tuabin gió.

3.38**Chức năng bảo vệ (tuabin gió) (protection functions (wind turbine))**

Chức năng của hệ thống điều khiển và bảo vệ để đảm bảo tuabin gió vẫn nằm trong các giới hạn thiết kế.

3.39**Công suất danh định (rated power)**

Lượng công suất được ấn định, thường bởi nhà chế tạo, đối với điều kiện vận hành quy định của một thành phần, cơ cấu hoặc thiết bị.

CHÚ THÍCH: (tuabin gió) Công suất ra liên tục lớn nhất mà một tuabin gió được thiết kế để đạt được trong các điều kiện vận hành và điều kiện bên ngoài bình thường.

3.40

Tốc độ gió danh định (rated wind speed)

V_r

Tốc độ gió tối thiểu ở độ cao của hub mà tại đó đạt được công suất danh định của tuabin gió trong trường hợp gió ổn định không có luồng xoáy.

3.41

Phân bố Rayleigh (Rayleigh distribution)

P_R

Hàm phân bố xác suất, xem 3.63.

3.42

Tốc độ gió chuẩn (reference wind speed)

V_{ref}

Thông số cơ bản của tốc độ gió được sử dụng để xác định các cấp tuabin gió. Thiết kế khác liên quan đến các tham số khí hậu được dẫn xuất từ tốc độ gió chuẩn và các tham số cấp tuabin gió cơ bản khác (xem Điều 6).

CHÚ THÍCH: Tuabin được thiết kế cho một cấp tuabin gió có tốc độ gió chuẩn V_{ref} , được thiết kế để chịu được khí hậu mà ở đó tốc độ gió trung bình cực trị trong 10 min, có tần suất xuất hiện là 50 năm ở độ cao của hub tuabin nhỏ hơn hoặc bằng V_{ref} .

3.43

Vận tốc gió lấy mẫu luân phiên (rotationally sampled wind velocity)

Tốc độ gió đo tại một điểm cố định của rôto tuabin gió đang quay.

CHÚ THÍCH: Phổ luồng xoáy của vận tốc gió lấy mẫu luân phiên khác biệt rõ rệt so với phổ luồng xoáy thông thường. Trong khi quay, cánh cắt qua luồng gió biến đổi trong không gian. Do đó, phổ luồng xoáy nhận được sẽ chứa một số phương sai khá lớn tại tần số quay và cùng sóng hài.

3.44

Tốc độ rôto (tuabin gió) (roto speed (wind turbines))

Tốc độ quay của rôto tuabin gió quanh trục của nó.

3.45

Chiều dài thô (roughness length)

z_0

Chiều cao ngoại suy mà tại đó tốc độ gió trung bình trở về không nếu biên dạng gió theo phương thẳng đứng được giả định là biến đổi theo hàm loga của chiều cao.

3.46**Bảo trì định kỳ (scheduled maintenance)**

Bảo trì dự phòng thực hiện theo lịch trình thời gian đã được thiết lập.

3.47**Số liệu tại hiện trường (site data)**

Số liệu về môi trường, địa chấn, đất và mạng điện đối với vị trí lắp đặt tuabin. Số liệu gió phải là số liệu thống kê của các mẫu trong 10 min nếu không có quy định khác.

3.48**Đứng yên (standstill)**

Trạng thái tuabin gió ngừng quay.

3.49**Kết cấu đỡ (tuabin gió) (support structure (wind turbines))**

Bộ phận của tuabin gió bao gồm cột tháp và móng.

3.50**Tốc độ gió chịu được (survival wind speed)**

Tên gọi thông thường cho tốc độ gió cao nhất mà kết cấu được thiết kế để chịu được.

CHÚ THÍCH: Trong tiêu chuẩn này, không sử dụng thuật ngữ này. Thay vào đó các điều kiện thiết kế sẽ đề cập đến tốc độ gió cực trị (xem 3.18).

3.51**Diện tích quét (swept area)**

Diện tích hình chiếu vuông góc với hướng gió mà rôto sẽ vẽ ra sau một vòng quay hoàn chỉnh.

3.52**Cường độ luồng xoáy (turbulence intensity)**

I

Tỷ số giữa độ lệch chuẩn của tốc độ gió và tốc độ gió trung bình, được xác định từ cùng một bộ các mẫu số liệu đo tốc độ gió, và thực hiện trong một khoảng thời gian quy định.

3.53**Tham số tỷ lệ luồng xoáy (turbulence scale parameter)**

Λ_1

Bước sóng mà tại đó mật độ phổ năng lượng theo chiều dọc, không thứ nguyên bằng 0,05.

CHÚ THÍCH: Do đó bước sóng được xác định là $\Lambda_1 = V_{hub}/f_0$, trong đó $f_0 S_1(f_0)/\sigma_1^2 = 0,05$.

3.54

Độ lệch chuẩn luồng xoáy (turbulence standard deviation)

σ_1

Độ lệch chuẩn của thành phần theo chiều dọc của tốc độ gió luồng xoáy tại chiều cao của hub.

3.55

Trạng thái giới hạn tới hạn (ultimate limit state)

Trạng thái giới hạn thường tương ứng với khả năng mang tải tối đa.

[2.2.10 của ISO 2394, có sửa đổi]

3.56

Bảo trì đột xuất (unscheduled maintenance)

Bảo trì được thực hiện, không theo lịch trình thời gian đã thiết lập, mà sau khi tiếp nhận dấu hiệu về tình trạng của một bộ phận.

3.57

Ngược gió (upwind)

Ngược với hướng của vectơ gió chính.

3.58

Tuabin gió trục đứng (vertical axis wind turbine)

Tuabin gió có trục rôto thẳng đứng.

3.59

Phân bố Weibull (Weibull distribution)

P_w

Hàm phân bố xác suất, xem 3.63.

3.60

Trang trại gió (wind farm)

Xem 3.61.

3.61

Trạm điện gió (wind power station)

Nhóm hoặc các nhóm tuabin gió, thường được gọi là một trang trại gió.

3.62

Biên dạng gió – Định luật trượt gió (wind profile – wind shear law)

Biểu diễn toán học về biến động tốc độ gió giả định theo chiều cao so với mặt đất.

CHÚ THÍCH: Biên dạng thường được sử dụng là biên dạng logarit (Công thức 1) hoặc biên dạng luật lũy thừa (Công thức 2).

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

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

trong đó:

- $V(z)$ là tốc độ gió tại chiều cao z ;
- z là chiều cao so với mặt đất;
- z_r chiều cao chuẩn so với mặt đất được sử dụng để điều chỉnh biên dạng;
- z_0 là chiều dài thô;
- α là số mũ trượt gió (hoặc luật lũy thừa).

3.63

Phân bố tốc độ gió (wind speed distribution)

Hàm phân bố xác suất, được sử dụng để mô tả phân bố tốc độ gió trong một khoảng thời gian dài.

CHÚ THÍCH: Hàm phân bố thường được sử dụng là các hàm Rayleigh, $P_R(V_0)$, và hàm Weibull, $P_W(V_0)$

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

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

trong đó:

- $P(V_0)$ là hàm xác suất tích lũy, nghĩa là xác suất để có $V < V_0$;
- V_0 là tốc độ gió (giới hạn);
- V_{ave} giá trị trung bình của V ;
- C tham số tỷ lệ của hàm Weibull;
- k tham số hình dạng của hàm Weibull;
- Γ hàm gamma.

Cả C và k có thể được đánh giá từ số liệu thực. Hàm Rayleigh trùng với hàm Weibull nếu chọn $k = 2$, còn C và V_{ave} đáp ứng điều kiện nêu trong Công thức 4 đối với $k = 2$.

Các hàm phân bố biểu diễn xác suất tích lũy khi tốc độ gió thấp hơn V_0 . Do đó $(P(V_1) - P(V_2))$, nếu đánh giá giữa các giới hạn V_1 và V_2 quy định, sẽ cho biết khoảng thời gian mà tốc độ gió nằm trong các giới hạn này. Lấy vi phân các hàm phân bố sẽ cho các hàm mật độ xác suất tương ứng.

3.64

Trượt gió (wind shear)

Biến động tốc độ gió ngang qua mặt phẳng vuông góc với hướng gió.

3.65

Bậc trượt gió (wind shear exponent)

α

Cũng thường được biết đến như bậc luật lũy thừa, xem 3.62.

3.66

Tốc độ gió (wind speed)

V

Tốc độ chuyển động của lượng nhỏ không khí bao quanh một điểm cụ thể trong không gian.

CHÚ THÍCH: Đây cũng là độ lớn của vận tốc gió cục bộ (vector) (xem 3.69).

3.67

Hệ thống máy phát tuabin gió (wind turbine generator system (wind turbine))

Hệ thống biến đổi động năng trong gió thành điện năng.

3.68

Vị trí tuabin gió (wind turbine site)

Vị trí của một tuabin gió đứng độc lập hoặc trong một trang trại gió.

3.69

Vận tốc gió (wind velocity)

Vecto chỉ phương chuyển động, tính bằng m/s, của không khí xung quanh điểm đang xét, độ lớn của vecto sẽ bằng với tốc độ chuyển động của "khối" không khí này (tức là tốc độ gió cục bộ).

CHÚ THÍCH: Vector tại điểm bất kỳ là đạo hàm theo thời gian của vector vị trí của "khối" không khí dịch chuyển qua điểm đó.

3.70

Hệ thống điện tuabin gió (wind turbine electrical system)

Tất cả các thiết bị điện bên trong tuabin gió, nối đến và bao gồm cả các đầu nối của tuabin gió, kể cả thiết bị tiếp đất, liên kết và truyền thông. Hệ thống này bao gồm cả các dây dẫn bên trong tuabin gió, được sử dụng để tạo ra mạng lưới đầu nối đất cụ thể cho tuabin gió.

3.71

Đầu nối của tuabin gió (wind turbine terminals)

Điểm hoặc các điểm được xác định bởi nhà cung cấp tuabin gió, tại đó tuabin gió có thể được nối đến hệ thống thu gom điện năng. Các đầu nối này bao gồm cả kết nối cho các mục đích truyền năng lượng và truyền thông.

3.72

Xoay tuabin (yawing)

Trục rôto xoay quanh trục thẳng đứng (chỉ đối với các tuabin gió trục ngang).

3.73

Độ xoay tuabin (yaw misalignment)

Độ xoay của trục rôto tuabin gió so với hướng gió.

4 Ký hiệu và các từ viết tắt**4.1 Ký hiệu và đơn vị**

C	tham số tỷ lệ của hàm phân bố Weibull	[m/s]
C_{CT}	tham số hiệu chỉnh kết cấu theo luồng xoáy	
C_T	hệ số áp lực hướng trục	
C_{oh}	hàm liên kết	
D	đường kính rôto	
f	tần số	
f_d	giá trị sức bền vật liệu thiết kế	
f_k	giá trị sức bền vật liệu đặc trưng	[-]
F_d	giá trị tải thiết kế	[-]
F_k	giá trị tải đặc trưng	[-]
I_{ref}	giá trị cường độ luồng xoáy mong muốn tại chiều cao của hub ở tốc độ gió trung bình lấy trong 10 min là 15 m/s	[-]
I_{eff}	cường độ luồng xoáy hiệu dụng	[-]
k	tham số hình dạng của hàm phân bố Weibull	[-]
K	hàm Bessel sửa đổi	[-]
L	tham số tỷ lệ tích phân luồng xoáy đẳng hướng	[m]
L_e	tham số tỷ lệ liên kết	[m]
L_k	tham số tỷ lệ tích phân thành phần vận tốc	[m]
m	bậc đường cong Wöhler	[-]
n_i	số chu kỳ mỏi tính được trong bin tải trọng thứ i	[-]
$N(.)$	số chu kỳ hỏng là hàm của ứng suất (hoặc sức căng) được chỉ thị theo đối số (tức là đường cong S-N đặc trưng)	[-]

TCVN 10687-1:2015

N	tần suất xuất hiện của trạng thái cực trị	[năm]
p	xác suất chịu được	[-]
$P_R(V_0)$	phân bố xác suất Rayleigh, tức là xác suất để có $V < V_0$	[-]
$P_W(V_0)$	phân bố xác suất Weibull	[-]
r	độ lớn hình chiếu vector riêng biệt	[m]
s_i	mức ứng suất (hoặc sức căng) liên quan đến số lượng chu kỳ đếm được trong bin thứ i	[-]
$S_i(f)$	hàm mật độ phổ năng lượng cho thành phần vận tốc gió theo chiều dọc	[m ² /s]
S_k	phổ thành phần vận tốc một phía	[m ² /s]
T	thời gian gió giật đặc trưng	[s]
t	thời gian	[s]
V	tốc độ gió	[m/s]
$V(z)$	tốc độ gió ở độ cao z	[m/s]
V_{ave}	tốc độ gió trung bình hàng năm tại chiều cao của hub	[m/s]
V_{cg}	độ lớn gió giật liên kết cực trị trên toàn bộ diện tích quét của rôto	[m/s]
V_{en}	tốc độ gió cực trị dự kiến (lấy trung bình trong 3 s), có tần suất xuất hiện là N năm.	
V_{e1} và V_{e50}	trong 1 năm và 50 năm tương ứng	[m/s]
V_{gust}	độ lớn gió giật lớn nhất có tần suất xuất hiện dự kiến là 50 năm	[m/s]
V_{hub}	tốc độ gió tại chiều cao của hub	[m/s]
V_{in}	tốc độ gió đóng mạch	[m/s]
V_0	tốc độ gió giới hạn trong mô hình phân bố tốc độ gió	[m/s]
V_{out}	tốc độ gió ngắt mạch	[m/s]
V_r	tốc độ gió danh định	[m/s]
V_{ref}	tốc độ gió chuẩn	[m/s]
$V_{(y,z,t)}$	thành phần vận tốc gió theo chiều dọc để mô tả trượt gió quá độ theo chiều ngang	[m/s]
$V_{(z,t)}$	thành phần vận tốc gió theo chiều dọc để mô tả biến động quá độ đối với các điều kiện trượt gió và gió giật cực trị	[m/s]
x, y, z	hệ thống tọa độ kết hợp được sử dụng để mô tả trường gió; gió dọc (theo chiều dọc), gió ngang (hai bên) và chiều cao tương ứng	[m]
z_{hub}	chiều cao của hub tuabin gió	[m]

z_r	chiều cao chuẩn so với mặt đất	[m]
z_0	chiều dài thô (đối với biên dạng gió logarit)	[m]
α	bậc luật lũy thừa trượt gió	[-]
β	tham số đối với mô hình thay đổi hướng cực trị	[-]
δ	hệ số biến động	[-]
Γ	hàm gamma	[-]
γ_f	hệ số an toàn từng phần cho các tải	[-]
γ_m	hệ số an toàn từng phần cho vật liệu	[-]
γ_n	hệ số an toàn từng phần cho hậu quả của sự cố	[-]
$\theta(t)$	thay đổi tức thời hướng gió	[deg]
θ_{cg}	góc lệch lớn nhất so với hướng của tốc độ gió trung bình trong điều kiện gió giật	[deg]
θ_e	độ thay đổi hướng cực trị với tần suất xuất hiện là N năm	[deg]
Λ_1	tham số tỷ lệ luồng xoáy được định nghĩa là bước sóng mà tại đó mật độ phổ năng lượng theo chiều dọc, không thứ nguyên $fS_1(f)/\sigma_1^2$ bằng 0,05	[m]
$\hat{\sigma}$	độ lệch chuẩn luồng xoáy ước tính	[m/s]
$\hat{\sigma}_{eff}$	độ lệch chuẩn luồng xoáy ước tính hiệu dụng	[m/s]
σ_{wake}	độ lệch chuẩn luồng xoáy luồng rẽ khí	[m/s]
$\hat{\sigma}_T$	độ lệch luồng xoáy luồng rẽ khí trung tâm lớn nhất	[m/s]
$\hat{\sigma}_\sigma$	độ lệch chuẩn của độ lệch chuẩn luồng xoáy ước tính $\hat{\sigma}$	[m/s]
σ_1	độ lệch chuẩn vận tốc gió theo chiều dọc tại chiều cao của hub	[m/s]
σ_2	độ lệch chuẩn vận tốc gió theo chiều ngang tại chiều cao của hub	[m/s]
σ_3	độ lệch chuẩn vận tốc gió thẳng đứng tại chiều cao của hub	[m/s]
$E(\cdot)$	giá trị kỳ vọng của tham số bên trong dấu móc	[-]
$Var(\cdot)$	phương sai của tham số bên trong dấu móc	[-]

4.2 Các từ viết tắt

A	bất thường (đối với hệ số an toàn từng phần)
a.c.	dòng điện xoay chiều
d.c.	dòng điện một chiều

TCVN 10687-1:2015

DLC	trường hợp tải thiết kế
ECD	gió giật liên kết cực trị có hướng thay đổi
EDC	đổi hướng gió cực trị
EOG	gió giật vận hành cực trị
ETM	mô hình luồng xoáy cực trị
EWM	mô hình tốc độ gió cực trị
EWS	trượt gió cực trị
F	độ mỏi
N	bình thường và cực trị (đối với hệ số an toàn từng phần)
NWP	mô hình biên dạng gió bình thường
NTM	mô hình luồng xoáy bình thường
S	cấp tuabin gió IEC đặc biệt
T	vận chuyển và lắp đặt (đối với hệ số an toàn từng phần)
U	tới hạn

5 Các yếu tố chính

5.1 Quy định chung

Điều 5 đưa ra các yêu cầu kỹ thuật và thiết kế để đảm bảo an toàn cho kết cấu, các hệ thống cơ, điện và điều khiển tuabin gió. Thông số kỹ thuật của các yêu cầu này áp dụng cho việc thiết kế, sản xuất, lắp đặt và sở tay hướng dẫn sử dụng và bảo trì tuabin gió và các quá trình quản lý chất lượng liên quan. Ngoài ra, điều này còn đề cập đến cả các quy trình an toàn, đã được thiết lập theo các thực tiễn khác nhau được sử dụng trong quá trình lắp đặt, vận hành và bảo trì tuabin gió.

5.2 Các phương pháp thiết kế

Tiêu chuẩn này đòi hỏi sử dụng mô hình kết cấu động lực học để dự báo các tải thiết kế. Mô hình như vậy phải được sử dụng để xác định các tải trong một dải tốc độ gió, sử dụng các điều kiện luồng xoáy và điều kiện gió khác được quy định tại Điều 6 và các tình huống thiết kế được quy định tại Điều 7. Tất cả các kết hợp liên quan của các điều kiện bên ngoài và các tình huống thiết kế phải được phân tích. Trong tiêu chuẩn này, tập hợp tối thiểu các kết hợp như vậy được gọi là các trường hợp tải.

Dữ liệu từ thử nghiệm tỷ lệ thực của một tuabin gió có thể được sử dụng để tăng độ tin cậy của các giá trị thiết kế dự báo và để kiểm tra mô hình kết cấu động lực học và các tình huống thiết kế.

Kiểm tra tính đầy đủ của thiết kế bằng tính toán và/hoặc bằng thử nghiệm. Nếu kết quả thử nghiệm được sử dụng trong việc kiểm tra này, các điều kiện bên ngoài trong thử nghiệm này phải được thể

hiện để phản ánh các giá trị đặc trưng và tình huống thiết kế xác định trong tiêu chuẩn. Việc lựa chọn các điều kiện thử nghiệm, kể cả tải thử nghiệm, phải tính đến hệ số an toàn liên quan.

5.3 Cấp an toàn

Tuabin gió phải được thiết kế theo một trong hai cấp an toàn sau:

- cấp an toàn thông thường áp dụng khi một sự cố dẫn đến rủi ro gây thương tích cho người hoặc hậu quả xã hội hoặc kinh tế khác;
- cấp an toàn đặc biệt áp dụng khi các yêu cầu an toàn được xác định theo các quy chuẩn kỹ thuật quốc gia và/hoặc các yêu cầu an toàn được thỏa thuận giữa nhà chế tạo và khách hàng.

Đối với các tuabin gió cấp an toàn thông thường, các hệ số an toàn từng phần được quy định trong 7.6 của tiêu chuẩn này.

Đối với các tuabin gió cấp an toàn đặc biệt, các hệ số an toàn từng phần phải được thỏa thuận giữa nhà chế tạo và khách hàng. Tuabin gió được thiết kế theo cấp an toàn đặc biệt là tuabin gió cấp S như định nghĩa trong 6.2.

5.4 Đảm bảo chất lượng

Đảm bảo chất lượng là một phần không tách rời của thiết kế, mua sắm, chế tạo, lắp đặt, vận hành và bảo trì các tuabin gió và tất cả các thành phần của chúng.

Hệ thống quản lý chất lượng cần phù hợp với các yêu cầu của TCVN ISO 9001.

5.5 Ghi nhãn tuabin gió

Tối thiểu phải có các thông tin dưới đây, hiển thị một cách bền và rõ ràng, trên tấm nhãn của tuabin gió:

- nhà chế tạo và quốc gia chế tạo tuabin gió;
- kiểu và số seri;
- năm sản xuất;
- công suất danh định;
- tốc độ gió chuẩn, V_{ref} ;
- dải tốc độ gió làm việc tại chiều cao của hub, $V_{in} - V_{out}$;
- dải nhiệt độ môi trường làm việc;
- cấp tuabin gió (xem Bảng 1);
- điện áp danh định ở các đầu nối tuabin gió;
- tần số tại các đầu nối tuabin gió hoặc dải tần số trong trường hợp biến động danh nghĩa lớn hơn 2 %.

6 Điều kiện bên ngoài

6.1 Quy định chung

Các điều kiện bên ngoài mô tả trong điều này phải được xét đến khi thiết kế tuabin gió.

Các tuabin gió phải chịu các điều kiện môi trường và điện mà có thể ảnh hưởng đến việc mang tải, độ bền và hoạt động của chúng. Để đảm bảo mức độ thích hợp về an toàn và độ tin cậy, các tham số môi trường, điện và đất phải được tính đến khi thiết kế và phải được nêu rõ trong các tài liệu thiết kế.

Các điều kiện môi trường được chia ra thành điều kiện gió và các điều kiện môi trường khác. Các điều kiện điện được nêu trong các điều kiện của mạng điện. Các tính chất của đất liên quan đến thiết kế nền móng của tuabin gió.

Các điều kiện bên ngoài được chia thành các loại bình thường và loại cực trị. Các điều kiện bên ngoài bình thường nói chung liên quan đến các điều kiện tải thường xuyên của kết cấu, trong khi các điều kiện cực trị bên ngoài thể hiện các điều kiện thiết kế bên ngoài rất hiếm. Các trường hợp tải thiết kế phải bao gồm các kết hợp tiềm ẩn quan trọng của các điều kiện bên ngoài này với các chế độ vận hành của tuabin gió và các tình huống thiết kế khác.

Các điều kiện gió là các điều kiện chính bên ngoài ảnh hưởng đến tính toàn vẹn kết cấu. Các điều kiện môi trường khác cũng ảnh hưởng đến tính năng thiết kế cũng như chức năng hệ thống điều khiển, độ bền, độ ăn mòn, v.v...

Các điều kiện bình thường và cực trị, mà sẽ được xem xét khi thiết kế theo các cấp tuabin gió, được quy định trong các điều dưới đây.

6.2 Phân cấp tuabin gió

Các điều kiện bên ngoài cần xem xét khi thiết kế phụ thuộc vào vị trí hoặc loại vị trí dự kiến để lắp đặt tuabin gió. Các cấp tuabin gió được xác định theo các tham số tốc độ gió và luồng xoáy. Mục đích của phân cấp là nhằm bao quát hầu hết các ứng dụng. Các giá trị tham số tốc độ gió và luồng xoáy nhằm thể hiện nhiều vị trí khác nhau mà không đưa ra thể hiện chi tiết cho vị trí cụ thể bất kỳ, xem 11.3. Việc phân cấp tuabin gió đưa ra một giới hạn bền vững được xác định rõ ràng theo các tham số tốc độ gió và luồng xoáy. Bảng 1 quy định các tham số cơ bản, để xác định các cấp tuabin gió.

Ngoài ra, định nghĩa thêm một cấp tuabin gió nữa, cấp S, để sử dụng khi nhà thiết kế và/hoặc khách hàng yêu cầu điều kiện gió đặc biệt hoặc các điều kiện bên ngoài khác hoặc cấp an toàn đặc biệt, xem 5.3. Các giá trị thiết kế cho các tuabin gió cấp S phải được nhà thiết kế chọn và được quy định trong tài liệu thiết kế. Đối với các thiết kế đặc biệt như vậy, các giá trị được chọn đối với các điều kiện thiết kế phải phản ánh môi trường tối thiểu có độ khắc nghiệt như dự kiến cho việc sử dụng các tuabin gió.

Các điều kiện bên ngoài cụ thể được xác định đối với cấp I, II và III không nhằm bao quát các điều kiện ngoài khơi hay các điều kiện gió trong các cơn bão nhiệt đới như cuồng phong, lốc xoáy, gió bão. Các điều kiện như vậy có thể yêu cầu thiết kế tuabin gió cấp S.

Bảng 1 – Tham số cơ bản của các cấp tuabin gió¹

Cấp tuabin gió	I	II	III	S
V_{ref} (m/s)	50	42,5	37,5	Các giá trị được nhà thiết kế quy định
A I_{ref} (-)	0,16			
B I_{ref} (-)	0,14			
C I_{ref} (-)	0,12			

Trong Bảng 1, các giá trị tham số áp dụng ở chiều cao của hub và

V_{ref} là tốc độ gió chuẩn lấy trung bình trong 10 min,

A cấp có đặc tính luồng xoáy cao,

B cấp có đặc tính luồng xoáy trung bình,

C cấp có đặc tính luồng xoáy thấp, và

I_{ref} giá trị kỳ vọng của cường độ² luồng xoáy ở tốc độ 15 m/s.

Ngoài những tham số cơ bản này, một vài tham số quan trọng khác được yêu cầu để có thể quy định đầy đủ các điều kiện bên ngoài cần sử dụng khi thiết kế tuabin gió. Trong trường hợp các cấp tuabin gió từ I_A đến III_C, được gọi là các cấp tuabin gió tiêu chuẩn, giá trị của các tham số bổ sung này được quy định trong 6.3, 6.4 và 6.5.

Tuổi thọ thiết kế đối với các cấp tuabin gió từ cấp I đến cấp III phải ít nhất là 20 năm.

Đối với tuabin gió cấp S, trong tài liệu thiết kế, nhà chế tạo phải mô tả các mô hình được sử dụng và các giá trị của các tham số thiết kế. Khi chấp nhận các mô hình trong Điều 6, công bố các giá trị của các tham số sẽ là đủ. Tài liệu thiết kế tuabin gió cấp S phải có các thông tin liệt kê trong Phụ lục A.

Các chữ viết tắt được thêm vào trong dấu ngoặc đơn của các tiêu đề điều trong phần còn lại của điều này được sử dụng để mô tả các điều kiện gió đối với các trường hợp tải thiết kế quy định trong 7.4.

6.3 Điều kiện gió

Một tuabin gió phải được thiết kế để chịu được một cách an toàn các điều kiện gió được xác định theo cấp tuabin gió đã chọn.

Các giá trị thiết kế của các điều kiện gió phải được quy định rõ ràng trong tài liệu thiết kế.

¹ Tốc độ gió trung bình hàng năm không xuất hiện trong Bảng 1 như một tham số cơ bản đối với các cấp tuabin gió nữa. Tốc độ gió trung bình hàng năm đối với các thiết kế tuabin gió theo các cấp này được cho trong công thức 9.

² Lưu ý trong tiêu chuẩn này, I_{ref} là giá trị trung bình mà không phải giá trị đại diện.

Chế độ gió đối với các lưu ý về tải và lưu ý về an toàn được chia thành các điều kiện gió bình thường, mà sẽ xảy ra thường xuyên trong quá trình vận hành bình thường của một tuabin gió, và các điều kiện gió cực trị mà được xác định là có tần suất xuất hiện 1 năm hoặc 50 năm.

Các điều kiện gió bao gồm cả luồng trung bình không đổi, trong nhiều trường hợp, được kết hợp với một biên dạng gió giật xác định hoặc với luồng xoáy. Trong mọi trường hợp, sẽ phải xem xét ảnh hưởng khi độ nghiêng luồng trung bình so với mặt phẳng nằm ngang lên đến 8°. Góc nghiêng luồng gió này phải được giả định là bất biến theo chiều cao.

Cụm từ "luồng xoáy" để chỉ các biến ngẫu nhiên trong vận tốc gió từ các trung bình trượt 10 min. Khi được sử dụng, mô hình luồng xoáy phải có các ảnh hưởng của việc thay đổi tốc độ gió, trượt và hướng gió và cho phép lấy mẫu quay theo các trượt gió khác nhau. Ba thành phần vector vận tốc gió luồng xoáy được xác định là:

- hướng theo chiều dọc – dọc theo hướng vận tốc gió trung bình;
- hướng theo chiều ngang – nằm ngang và vuông góc với hướng dọc, và
- hướng lên – vuông góc với cả hướng theo chiều dọc và hướng theo chiều ngang, nghĩa là nghiêng so với đường thẳng đứng một góc nghiêng trung bình của luồng.

Đối với các cấp tuabin gió tiêu chuẩn, trường vận tốc gió ngẫu nhiên cho các mô hình luồng xoáy phải thỏa mãn các yêu cầu sau:

a) độ lệch chuẩn của luồng xoáy, σ_1 , với các giá trị được cho trong các điều dưới đây, phải được giả thiết là bất biến theo chiều cao. Các thành phần vuông góc với hướng gió trung bình phải có độ lệch chuẩn tối thiểu như sau³:

- Thành phần hướng theo chiều ngang: $\sigma_2 \geq 0,7\sigma_1$
- Thành phần hướng lên: $\sigma_3 \geq 0,5\sigma_1$

b) tham số tỷ lệ luồng xoáy theo chiều dọc, A_1 , tại chiều cao của hub z phải được cho bởi

$$A_1 = \begin{cases} 0,7 & z \leq 60 \text{ m} \\ 42 \text{ m} & z \geq 60 \text{ m} \end{cases} \quad (5)$$

Mật độ phổ công suất của ba thành phần trực giao $S_1(f)$, $S_2(f)$ và $S_3(f)$ phải gần như tiệm cận tới các dạng sau theo tần số khi tăng phạm vi quán tính:

$$S_1(f) = 0,05\sigma_1^2 (A_1/V_{hub})^{-2/3} f^{-5/3} \quad (6)$$

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

³ Các giá trị thực có thể phụ thuộc vào việc lựa chọn mô hình luồng xoáy và các yêu cầu trong b).

c) phải sử dụng một mô hình liên kết được công nhận, được định nghĩa là độ lớn của phổ liên kết chia cho phổ tự động đối với các thành phần vận tốc theo chiều dọc tại các điểm không gian riêng biệt trong mặt phẳng vuông góc với hướng theo chiều dọc.

Mô hình luồng xoáy đề xuất nhằm đáp ứng các yêu cầu này là mô hình luồng xoáy trượt nhất quán Mann trong Phụ lục B. Mô hình khác thường được sử dụng đáp ứng các yêu cầu này cũng được nêu trong Phụ lục B. Các mô hình khác phải được sử dụng một cách thận trọng, vì việc lựa chọn có thể ảnh hưởng đáng kể đến tải.

6.3.1 Điều kiện gió bình thường

6.3.1.1 Phân bố tốc độ gió

Phân bố tốc độ gió là quan trọng đối với thiết kế tuabin gió vì nó quyết định tần suất xuất hiện các điều kiện tải riêng rẽ đối với các tình huống thiết kế thông thường. Giá trị trung bình của tốc độ gió trong khoảng thời gian 10 min phải được giả định là tuân theo phân bố Rayleigh ở độ cao của hub được cho bởi

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

trong đó, trong các cấp tuabin gió tiêu chuẩn, V_{ave} phải được chọn như sau

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

6.3.1.2 Mô hình biên dạng gió thông thường (NWP)

Biên dạng gió, $V(z)$, chỉ tốc độ gió trung bình như một hàm số của chiều cao z so với mặt đất. Trong trường hợp các cấp tuabin gió tiêu chuẩn, biên dạng gió thông thường phải được đưa ra theo luật lũy thừa:

$$V(z) = V_{hub}(z/z_{hub})^\alpha \quad (10)$$

Số mũ luật lũy thừa, α , phải được giả định là 0,2.

Biên dạng gió giả định được sử dụng để xác định trượt gió thẳng đứng trung bình ngang qua diện tích quét của rôto.

6.3.1.3 Mô hình luồng xoáy thông thường (NTM)

Đối với mô hình luồng xoáy thông thường, giá trị đại diện cho độ lệch chuẩn của luồng xoáy σ_1 , phải được cho bởi 90 % phân bố ⁴ đối với tốc độ gió tại chiều cao của hub cho trước. Giá trị đối với các cấp tuabin gió tiêu chuẩn phải được cho bởi

⁴ Nếu mong muốn các phân bố khác đối với các tính toán tải tùy chọn bổ sung, thì chúng có thể được lấy xấp xỉ với các cấp tiêu chuẩn bằng cách giả định phân bố loga chuẩn và

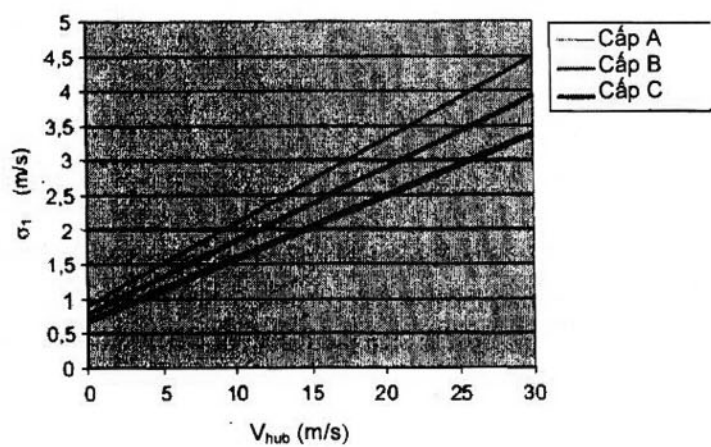
$$\text{Var}(\sigma_1|V_{hub}) = (I_{ref}(1,4 \text{ m/s}))^2 \quad E(\sigma_1|V_{hub}) = I_{ref}(0,75V_{hub} + c); \quad c = 3,8 \text{ m/s}$$

$$\sigma_1 = I_{ref}(0,75V_{hub} + b); \quad b = 5,6\text{ m/s}$$

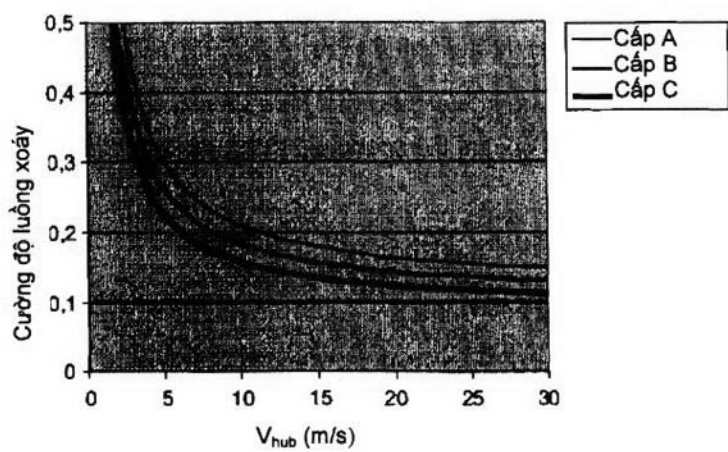
(11)

Các giá trị đối với độ lệch chuẩn của luồng xoáy σ_1 và cường độ luồng xoáy σ_1/V_{hub} được biểu diễn trong Hình 1a và Hình1b.

Các giá trị I_{ref} được cho trong Bảng 1.



Hình 1a – Độ lệch chuẩn của luồng xoáy đối với mô hình luồng xoáy thông thường (NTM)



Hình 1b – Cường độ luồng xoáy đối với mô hình luồng xoáy thông thường (NTM)

Hình 1 – Mô hình luồng xoáy thông thường (NTM)

6.3.2 Điều kiện gió cực trị

Các điều kiện gió cực trị bao gồm các sự kiện trượt gió, cũng như các tốc độ gió đỉnh do bão và các thay đổi nhanh của tốc độ và hướng gió.

6.3.2.1 Mô hình tốc độ gió cực trị (EWM)

Mô hình EWM phải là mô hình gió ổn định hoặc mô hình gió luồng xoáy. Các mô hình gió phải dựa trên tốc độ gió chuẩn, V_{ref} , và độ lệch chuẩn của luồng xoáy cố định, σ_1 .

Đối với mô hình gió cực trị ổn định, tốc độ gió cực trị, V_{e50} , có tần suất xuất hiện là 50 năm, và tốc độ gió cực trị, V_{e1} có tần suất xuất hiện là 1 năm, phải được tính là hàm số của chiều cao z , sử dụng các công thức sau:

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

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

Trong mô hình gió cực trị ổn định, giới hạn cho phép đối với các độ lệch ngắn hạn so với hướng gió trung bình phải được thực hiện bằng giả định độ xoay tuabin không đổi trong phạm vi $\pm 15^\circ$.

Đối với mô hình tốc độ gió cực trị luồng xoáy, tốc độ gió lấy trung bình trong 10 min là hàm số của z có các tần suất xuất hiện 50 năm và 1 năm tương ứng được cho bởi

$$V_{50}(z) = V_{ref} (z/z_{hub})^{0,11} \quad (14)$$

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

Độ lệch chuẩn của luồng xoáy theo chiều dọc⁵ phải là

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

6.3.2.2 Gió giật hoạt động cực trị (EOG)

Độ lớn gió giật tại chiều cao của hub V_{gust} ⁶ được cho đối với các cấp tuabin gió tiêu chuẩn bằng quan hệ sau:

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

trong đó:

σ_1 được tính theo công thức (11);

Λ_1 tham số tỷ lệ luồng xoáy, theo công thức (5);

⁵ Độ lệch chuẩn của luồng xoáy đối với mô hình gió cực trị luồng xoáy không liên quan đến mô hình luồng xoáy thông thường (NTM) hoặc mô hình luồng xoáy cực trị (ETM). Mô hình gió cực trị ổn định có liên quan đến mô hình gió cực trị luồng xoáy theo hệ số đính xấp xỉ 3,5.

⁶ Độ lớn gió giật được hiệu chuẩn cùng với xác suất của sự kiện hoạt động ví dụ như bắt đầu và kết thúc để có tần suất xuất hiện 50 năm.

D đường kính rôto.

Tốc độ gió phải được xác định theo công thức:

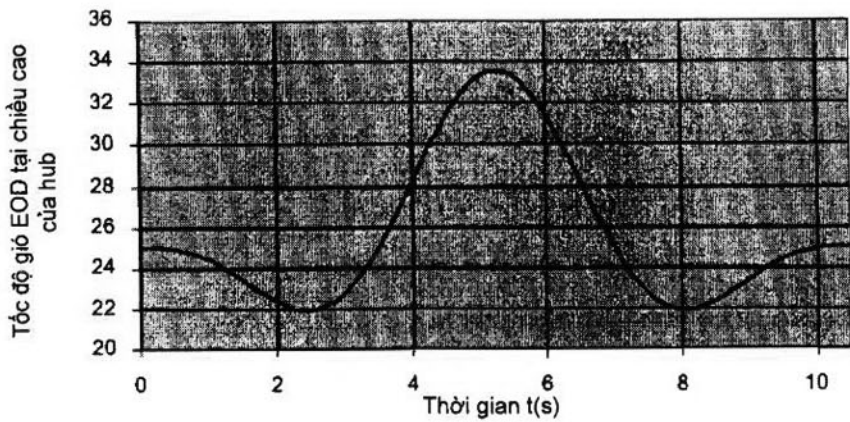
$$V(z,t) = \begin{cases} V(z) - 0,37V_{gust} \sin\left(\frac{3\pi t}{T}\right) \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)\right) & \text{đối với } 0 \leq t \leq T \\ V(z) & \text{trường hợp khác} \end{cases} \quad (18)$$

trong đó:

$V(z)$ được xác định theo công thức (10)

$T = 10,5 \text{ s}$.

Một ví dụ của gió giật hoạt động cực trị ($V_{hub} = 25 \text{ m/s}$, Cấp I_A, $D = 42 \text{ m}$) được biểu diễn trên Hình 2:



Hình 2 – Ví dụ về gió giật hoạt động cực trị

6.3.2.3 Mô hình luồng xoáy cực trị (ETM)

Mô hình luồng xoáy cực trị phải sử dụng mô hình biên dạng gió bình thường trong 6.3.1.2 và luồng xoáy có độ lệch chuẩn thành phần theo chiều dọc cho bởi

$$\sigma_1 = c I_{ref} \left(0,072 \left(\frac{V_{ave}}{c} + 3 \right) \left(\frac{V_{hub}}{c} - 4 \right) + 10 \right); c = 2 \frac{m}{s} \quad (19)$$

6.3.2.4 Đổi hướng cực trị (EDC)

Độ lớn đổi hướng cực trị, θ_e , phải được tính toán khi sử dụng quan hệ sau:

$$\theta_e = \pm 4 \arctan \left(\frac{\sigma_1}{V_{hub} \left(1 + 0,1 \left(\frac{D}{A_1} \right) \right)} \right) \quad (20)$$

trong đó:

σ_1 được cho bởi công thức (11) đối với mô hình NTM;

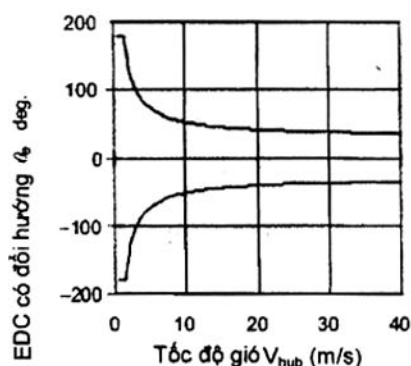
- θ_e được giới hạn trong khoảng $\pm 180^\circ$;
 Λ_1 tham số tỷ lệ luồng xoáy, theo công thức (5); và
 D đường kính rôto.

Đổi hướng quá độ cực trị, $\theta(t)$, được cho bởi

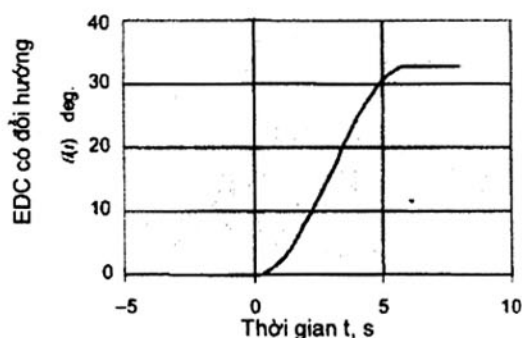
$$\theta(t) = \begin{cases} 0^\circ & \text{đối với } t < 0 \\ \pm 0,5\theta_e(1 - \cos(\pi t/T)) & \text{đối với } 0 \leq t \leq T \\ \theta_e & \text{đối với } t > T \end{cases} \quad (21)$$

trong đó $T = 6$ (s) là khoảng thời gian đổi hướng cực trị. Dấu phải được lựa chọn để có tải quá độ trường hợp xấu nhất. Khi kết thúc đổi hướng quá độ, hướng được giả định là giữ không đổi. Tốc độ gió phải theo mô hình biên dạng gió bình thường trong 6.3.1.2.

Ví dụ, độ lớn đổi hướng cực trị với luồng xoáy cấp A, $D = 42$ m, $z_{hub} = 30$ m được thể hiện trong Hình 3 đối với V_{hub} biến đổi. Quá độ tương ứng đối với $V_{hub} = 25$ m/s được thể hiện trong Hình 4.



Hình 3 – Ví dụ biên độ đổi hướng cực trị



Hình 4 – Ví dụ đổi hướng cực trị

6.3.2.5 Gió giật kết hợp cực trị có đổi hướng (ECD)

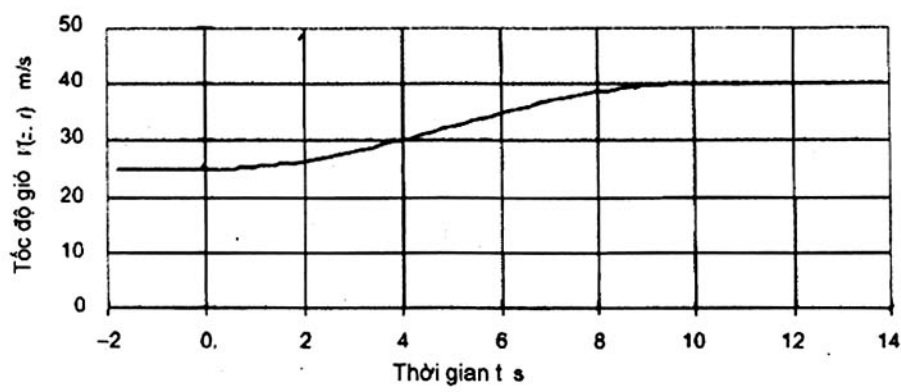
Gió giật kết hợp cực trị có đổi hướng phải có độ lớn là

$$V_{cg} = 15 \text{ m/s} \quad (22)$$

Tốc độ gió phải được xác định theo

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

trong đó $T = 10$ s là thời gian tăng và tốc độ gió $V(z)$ được đưa ra bởi mô hình biên dạng gió thông thường trong 6.3.1.2. Gia tăng tốc độ gió trong gió giật kết hợp cực trị được minh họa trong Hình 5 đối với $V_{hub} = 25$ m/s.



Hình 5 – Ví dụ biên độ gió giật kết hợp cực trị đối với ECD

Gia tăng tốc độ gió phải được giả thiết là xuất hiện đồng thời với đổi hướng θ từ 0° lên tới và bằng θ_{cg} , trong đó độ lớn θ_{cg} được xác định theo

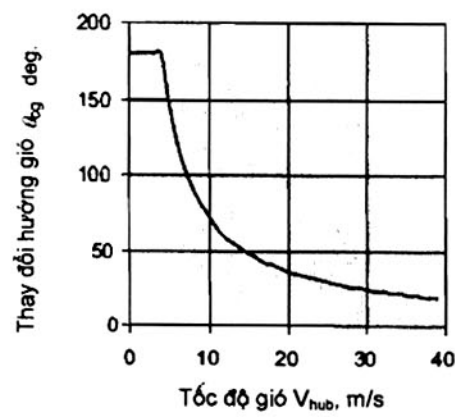
$$\theta_{cg}(V_{hub}) = \begin{cases} 180^\circ & \text{đối với } V_{hub} < 4\text{m/s} \\ \frac{720^\circ \text{ m/s}}{V_{hub}} & \text{đối với } 4\text{m/s} < V_{hub} < V_{ref} \end{cases} \tag{24}$$

Sau đó, đổi hướng đồng thời được tính bằng

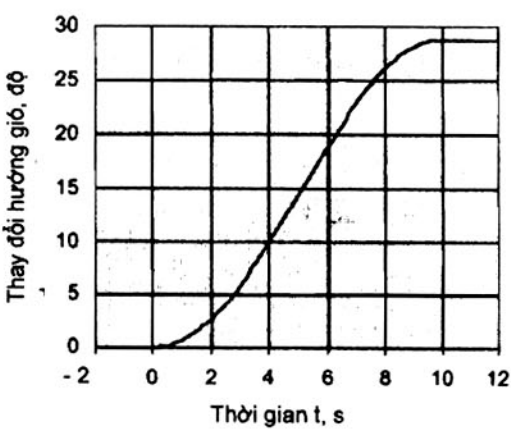
$$\theta(t) = \begin{cases} 0^\circ & \text{đối với } t < 0 \\ \pm 0,5\theta_{cg}(1 - \cos(\pi t/T)) & \text{đối với } 0 \leq t \leq T \\ \pm \theta_e & \text{đối với } t > T \end{cases} \tag{25}$$

trong đó $T = 10\text{ s}$ là thời gian tăng.

Độ lớn đổi hướng θ_{cg} và thay đổi hướng $\theta(t)$ được biểu diễn trong Hình 6 và Hình 7, là hàm của V_{hub} và hàm của thời gian đối với giá trị $V_{hub} = 25\text{ m/s}$ tương ứng.



Hình 6 – Đổi hướng đối với ECD



Hình 7 – Ví dụ về đổi hướng quá độ

6.3.2.6 Trượt gió cực trị (EWS)

Trượt gió cực trị phải được tính bằng cách sử dụng tốc độ gió quá độ như sau.

Trượt thẳng đứng quá độ (chiều âm và chiều dương):

$$V(z, t) = \begin{cases} V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^{\alpha} \pm \left(\frac{z - z_{hub}}{D} \right) \left(2,5 \left[\frac{m}{s} \right] + 0,2\beta\sigma_1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right)^{1/4} \right) (1 - \cos(2\pi t/T)) & \text{với } 0 \leq t \leq T \\ V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^{\alpha} & \text{trường hợp còn lại} \end{cases} \quad (26)$$

Trượt ngang quá độ:

$$V(y, z, t) = \begin{cases} V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^{\alpha} \pm \left(\frac{y}{D} \right) \left(2,5 \left[\frac{m}{s} \right] + 0,2\beta\sigma_1 \left(\frac{D}{\Lambda_1} \right)^{1/4} \right) (1 - \cos(2\pi t/T)) & \text{đối với } 0 \leq t \leq T \\ V_{hub} \left(\frac{z}{z_{hub}} \right)^{\alpha} & \text{trường hợp còn lại} \end{cases} \quad (27)$$

trong đó đối với cả trượt gió thẳng đứng và trượt gió ngang:

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

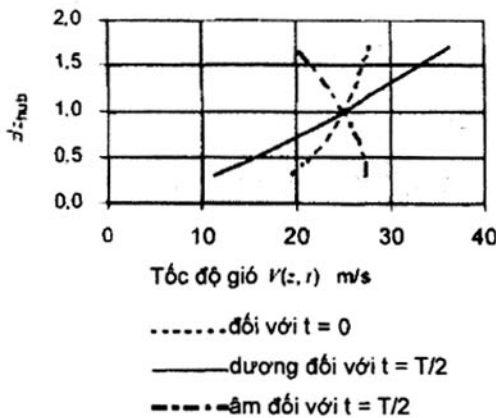
σ_1 được đưa ra theo công thức (11) cho mô hình NTM;

Λ_1 tham số tỷ lệ luồng xoáy, theo công thức (5); và

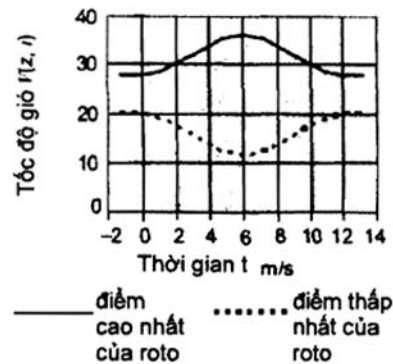
D đường kính rôto.

Dấu cộng trừ đối với trượt gió quá độ ngang phải được chọn để có tải quá độ trường hợp xấu nhất.

Không áp dụng đồng thời cả hai trường hợp trượt gió cực trị.



Hình 8 – Ví dụ về trượt gió cực trị thẳng đứng chiều dương và chiều âm, biên dạng gió trước khi bắt đầu ($t = 0$, đường nét đứt đều) và tại trượt gió tối đa ($t = 6$ s, đường nét liền)



Hình 9 – Ví dụ các tốc độ gió tại điểm cao nhất và điểm thấp nhất của rôto minh họa cho trượt gió dương tức thời

Ví dụ, trượt gió thẳng đứng cực trị (luồng xoáy cấp A, $z_{hub} = 30$ m, $V_{hub} = 25$ m/s, $D = 42$ m) được minh

TCVN 10687-1:2015

họa trong Hình 8, trong đó biểu diễn các biên dạng gió trước khi bắt đầu sự kiện cực trị ($t = 0$ s) và tại trượt gió tối đa ($t = 6$ s). Hình 9 biểu diễn các tốc độ gió ở điểm cao nhất và điểm thấp nhất của rôto, để minh họa cho thời điểm phát triển trượt gió (giả định như trong Hình 8).

6.4 Các điều kiện môi trường khác

Các điều kiện môi trường (khí hậu) không phải điều kiện về gió có thể ảnh hưởng đến tính toán vận và an toàn của tuabin gió, do hoạt động nhiệt, quang hóa, ăn mòn, cơ khí, điện hoặc vật lý khác. Hơn nữa, sự kết hợp các điều kiện khí hậu có thể làm tăng tác động của chúng.

Tối thiểu phải tính đến các điều kiện môi trường khác dưới đây và tác động của chúng phải được nêu trong tài liệu thiết kế:

- nhiệt độ;
- độ ẩm;
- khối lượng riêng của không khí;
- bức xạ mặt trời;
- mưa, mưa đá, tuyết và băng;
- các hoạt chất hóa học;
- các hoạt chất cơ học;
- độ mặn;
- sét;
- các địa chấn.

Môi trường ngoài khơi đòi hỏi các xem xét bổ sung.

Các điều kiện khí hậu được tính đến phải được xác định theo hoặc các giá trị đại diện hoặc các giới hạn của các điều kiện biến động. Xác suất xảy ra đồng thời các điều kiện khí hậu phải được tính đến khi lựa chọn các giá trị thiết kế.

Các biến động điều kiện khí hậu trong giới hạn bình thường tương ứng với tần suất xuất hiện là 1 năm không cản trở hoạt động bình thường theo thiết kế của tuabin gió.

Trừ khi tồn tại mối tương quan, các điều kiện môi trường cực trị khác theo 6.4.2 phải được kết hợp với điều kiện gió bình thường theo 6.3.1.

6.4.1 Các điều kiện môi trường bình thường khác

Các giá trị điều kiện môi trường bình thường khác được tính đến là

- dải nhiệt độ môi trường từ -10 °C đến $+40$ °C;

- độ ẩm tương đối đến 95 %;
- thành phần khí quyển tương đương với khí quyển lục địa không ô nhiễm (xem TCVN 7921-2-1 (IEC 60721-2-1));
- cường độ bức xạ mặt trời $1\,000\text{ W/m}^2$;
- khối lượng riêng của không khí $1,225\text{ kg/m}^3$.

Khi các điều kiện bên ngoài bổ sung được nhà thiết kế quy định, các tham số và các giá trị của chúng phải được nêu trong tài liệu thiết kế và phải phù hợp với các yêu cầu của TCVN 7921-2-1 (IEC 60721-2-1).

6.4.2 Các điều kiện môi trường cực trị khác

Các điều kiện môi trường cực trị khác phải được xem xét khi thiết kế tuabin gió là nhiệt độ, sét, băng và các địa chấn (xem 11.6 để đánh giá các điều kiện địa chấn).

6.4.2.1 Nhiệt độ

Dải nhiệt độ cực trị đối với các cấp tuabin gió tiêu chuẩn phải tối thiểu là $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ đến $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

6.4.2.2 Sét

Các quy định về bảo vệ chống sét yêu cầu trong 10.6, có thể được xem là thích hợp cho các thiết kế tuabin đối với các cấp tuabin gió tiêu chuẩn.

6.4.2.3 Băng

Không có các yêu cầu tối thiểu về băng được đưa ra đối với các cấp tuabin gió tiêu chuẩn.

6.4.2.4 Địa chấn

Không có các yêu cầu về địa chấn tối thiểu đối với các cấp tuabin gió tiêu chuẩn. Để xem xét các điều kiện và các ảnh hưởng địa chấn, xem 11.6 và Phụ lục C.

6.5 Điều kiện điện lưới

Các điều kiện bình thường tại đầu nối điện của tuabin gió được liệt kê dưới đây.

Áp dụng các điều kiện điện lưới thông thường khi các tham số sau nằm trong phạm vi được nêu dưới đây.

- Điện áp – giá trị danh nghĩa (theo IEC 60038) $\pm 10\%$.
- Tần số – giá trị danh nghĩa $\pm 2\%$.
- Mất cân bằng điện áp – tỷ lệ thành phần điện áp thứ tự ngược không vượt quá 2% .
- Các chu kỳ tự động đóng lại – thời gian của chu kỳ tự động đóng lại là $0,1\text{ s}$ đến 5 s đối với lần đóng đầu tiên và 10 s đến 90 s đối với lần đóng lại thứ hai phải được xem xét.

Mất điện – mất điện lưới phải được giả thuyết là xảy ra 20 lần mỗi năm. Một lần mất điện đến 6 h⁷ phải được coi là điều kiện bình thường; Một lần mất điện tới 1 tuần phải được coi là một điều kiện cực đoan.

7 Thiết kế về kết cấu

7.1 Quy định chung

Tính toán vệt của các thành phần mang tải của kết cấu tuabin gió phải được kiểm tra và phải khẳng định được mức an toàn chấp nhận được. Độ bền mỏi và độ bền tới hạn của các thành phần kết cấu phải được kiểm tra xác nhận bằng các tính toán và/hoặc các thử nghiệm để chứng minh tính toàn vẹn kết cấu của tuabin gió với mức an toàn thích hợp.

Các phân tích kết cấu phải dựa trên tiêu chuẩn ISO 2394.

Thực hiện các tính toán bằng cách sử dụng các phương pháp thích hợp. Mô tả về các phương pháp tính toán phải được nêu trong tài liệu thiết kế. Các mô tả phải có bằng chứng về tính hợp lệ của các phương pháp tính toán hoặc tham khảo các nghiên cứu kiểm tra xác nhận thích hợp. Mức tải trong thử nghiệm bất kỳ để kiểm chuẩn độ bền phải tương ứng với các hệ số an toàn thích hợp đối với các tải đặc trưng theo 7.6.

7.2 Phương pháp thiết kế

Phải kiểm tra xác nhận rằng các trạng thái giới hạn không bị vượt quá đối với thiết kế tuabin gió. Thử nghiệm mô hình và thử nghiệm mẫu cũng có thể được sử dụng thay cho việc tính toán để kiểm tra xác nhận thiết kế kết cấu, như quy định trong ISO 2394.

7.3 Tải

Tải mô tả trong các điều từ 7.3.1 đến 7.3.4 phải được xem xét đối với các tính toán thiết kế.

7.3.1 Tải trọng trường và quán tính

Tải trọng trường và quán tính là các tải tĩnh và động do trọng lực, rung, quay và địa chấn gây ra.

7.3.2 Tải khí động học

Tải khí động học là các tải tĩnh và động gây ra bởi luồng không khí và tương tác của nó với các bộ phận tĩnh tại và chuyển động của các tuabin gió.

Luồng không khí phụ thuộc vào tốc độ gió trung bình và luồng xoáy ngang qua mặt phẳng rôto, tốc độ quay của rôto, khối lượng riêng của không khí, các dạng khí động học của các thành phần tuabin gió và các hiệu ứng tương tác của chúng, bao gồm cả các hiệu ứng đàn hồi không khí.

⁷ Sáu giờ vận hành được coi là tương đương với khoảng thời gian của phần khắc nghiệt nhất của cơn bão

7.3.3 Tải truyền động

Tải truyền động sinh ra do vận hành và điều khiển các tuabin gió. Chúng ở nhiều dạng khác nhau gồm cả điều khiển mômen xoắn của máy phát/biến tần, các tải truyền động ngang và xoay cánh tuabin và tải hãm cơ khí. Trong mỗi trường hợp, điều quan trọng trong tính toán đáp ứng và tải là xem xét phạm vi của các lực truyền động hiện có. Đặc biệt, đối với các hãm cơ khí, giới hạn ma sát, lực đàn hồi hoặc áp lực khi bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ và quá trình lão hóa phải được tính đến trong việc kiểm tra đáp ứng và mang tải trong trường hợp hãm bất kỳ.

7.3.4 Các tải khác

Các tải khác như tải do luồng rẽ khí, các tải va đập, các tải do đóng băng, v.v... có thể xuất hiện và phải được tính đến khi thích hợp, xem 11.4.

7.4 Các tình huống thiết kế và các trường hợp tải

Điều này mô tả các trường hợp tải thiết kế cho một tuabin gió và quy định một số lượng tối thiểu cần xem xét.

Đối với các mục đích thiết kế, tuổi thọ của tuabin gió có thể được biểu diễn bằng một tập hợp các tình huống thiết kế bao gồm các điều kiện quan trọng nhất mà tuabin gió có thể trải qua.

Các trường hợp tải phải được xác định từ việc kết hợp các mô hình vận hành hoặc các tình huống thiết kế khác, ví dụ như các điều kiện lắp ráp, lắp đặt hoặc bảo trì cụ thể, với các điều kiện bên ngoài. Phải xem xét tất cả các trường hợp tải liên quan có xác suất xuất hiện chấp nhận được, cùng với đáp ứng của hệ thống điều khiển và bảo vệ. Các trường hợp tải thiết kế được sử dụng để kiểm tra xác nhận tính toàn vẹn về kết cấu của tuabin gió phải được tính toán bằng cách kết hợp:

- các tình huống thiết kế bình thường và điều kiện bên ngoài bình thường hoặc cực trị thích hợp;
- các tình huống thiết kế sự cố và các điều kiện bên ngoài thích hợp;
- các tình huống thiết kế vận chuyển, lắp đặt và bảo trì và các điều kiện bên ngoài thích hợp.

Nếu có tương quan giữa điều kiện bên ngoài cực trị và tình huống sự cố, việc kết hợp thực tế của cả hai phải được xem xét như một trường hợp tải thiết kế.

Trong mỗi tình huống thiết kế, phải xem xét một vài trường hợp tải thiết kế. Tối thiểu phải xem xét các trường hợp tải thiết kế trong Bảng 2. Trong bảng này, các trường hợp tải thiết kế được quy định đối với mỗi tình huống thiết kế bằng cách mô tả gió, điện và các điều kiện bên ngoài khác.

Trong trường hợp tải thiết kế với một mô hình gió xác định, nếu bộ điều khiển tuabin gió có thể làm cho tuabin gió bị dừng trước khi đạt đến góc xoay tuabin và/hoặc tốc độ gió tối đa, thì phải chỉ ra rằng tuabin có thể dừng một cách tin cậy trong điều kiện luồng xoáy có sự thay đổi như nhau về điều kiện gió xác định.

Phải xem xét các trường hợp tải thiết kế khác nếu có liên quan đến tính toàn vẹn kết cấu của thiết kế

tuabin gió cụ thể.

Đối với mỗi trường hợp tải thiết kế, loại phân tích thích hợp được công bố là "F" và "U" trong Bảng 2. Loại "F" đề cập đến phân tích các tải môi, được sử dụng trong việc đánh giá độ bền mỏi. Loại "U" đề cập đến phân tích các tải giới hạn, liên quan đến sức bền vật liệu, độ uốn đầu cánh và ổn định của kết cấu.

Các trường hợp tải thiết kế loại "U", được phân loại là bình thường (N), bất thường (A), hoặc vận chuyển và lắp đặt (T). Trường hợp tải thiết kế bình thường dự kiến sẽ xảy ra thường xuyên trong tuổi thọ của tuabin. Tuabin ở trạng thái bình thường hoặc có thể có các lỗi hoặc bất thường nhỏ. Các tình huống thiết kế bất thường ít có khả năng xảy ra. Chúng thường tương ứng với các tình huống thiết kế với các sự cố nghiêm trọng dẫn đến kích hoạt các chức năng bảo vệ hệ thống. Loại tình huống thiết kế, N, A hay T xác định các hệ số an toàn từng phần γ_i được áp dụng cho các tải giới hạn. Các hệ số này được cho trong Bảng 3.

Bảng 2 – Các trường hợp tải thiết kế

Tình huống thiết kế	DLC	Điều kiện gió	Các điều kiện khác	Loại phân tích	Hệ số an toàn từng phần
1) Phát điện	1.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Đề ngoại suy các sự kiện cực trị	U	N
	1.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	*
	1.3	ETM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		U	N
	1.4	EGD $V_{hub} = V_r - 2 \text{ m/s}$, $V_r, V_r + 2 \text{ m/s}$		U	N
	1.5	EWS $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		U	N
2) Phát điện có xuất hiện sự cố	2.1	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Sự cố hệ thống điều khiển hoặc mất điện lưới	U	N
	2.2	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Sự cố hệ thống bảo vệ hoặc sự cố điện bên trong trước đó	U	A
	2.3	EOG $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ và V_{out}	Sự cố điện bên ngoài hoặc bên trong kể cả mất điện lưới	U	A
	2.4	NTM $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$	Sự cố hệ thống điều khiển, hệ thống bảo vệ hoặc hệ thống điện kể cả mất điện lưới	F	*
3) Khởi động	3.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	*
	3.2	EOG $V_{hub} = V_{in}, V_r \pm 2 \text{ m/s}$ và V_{out}		U	N
	3.3	EDC $V_{hub} = V_{in}, V_r \pm 2 \text{ m/s}$ và V_{out}		U	N
4) Dừng bình thường	4.1	NWP $V_{in} < V_{hub} < V_{out}$		F	*
	4.2	EOG $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ và V_{out}		U	N
5) Dừng khẩn cấp	5.1	NTM $V_{hub} = V_r \pm 2 \text{ m/s}$ và V_{out}		U	N
6) Nghỉ (dừng yên hoặc chạy không tải)	6.1	EWM tần suất xuất hiện 50 năm		U	N
	6.2	EWM tần suất xuất hiện 50 năm	Mất kết nối điện lưới	U	A
	6.3	EWM tần suất xuất hiện 1 năm	Độ lệch xoay tuabin cực trị	U	N
	6.4	NTM $V_{hub} < 0,7 V_{ref}$		F	*
7) Điều kiện nghỉ và sự cố	7.1	EWM tần suất xuất hiện 1 năm		U	A
8) Vận chuyển, lắp ráp, bảo trì và sửa chữa	8.1	NTM V_{main} do nhà chế tạo công bố		U	T
	8.2	EWM tần suất xuất hiện 1 năm		U	A

Các từ viết tắt sau đây được sử dụng trong Bảng 2:

DLC	Trường hợp tải thiết kế
ECD	Gió giật kết hợp cực trị có đổi hướng (xem 6.3.2.5)
EDC	Đổi hướng cực trị (xem 6.3.2.4)
EOG	Gió giật hoạt động cực trị (xem 6.3.2.2)
EWM	Mô hình tốc độ gió cực trị (xem 6.3.2.1)
EWS	Trượt gió cực trị (xem 6.3.2.6)
NTM	Mô hình luồng xoáy bình thường (xem 6.3.1.3)
ETM	Mô hình luồng xoáy cực trị (xem 6.3.2.3)
NWP	Mô hình biên dạng gió bình thường (xem 6.3.1.2)
$V_r \pm 2 \text{ m/s}$	Độ nhạy với tất cả các tốc độ gió trong phạm vi phân tích
F	Độ mới (xem 7.6.3)
U	Độ bền giới hạn (xem 7.6.2)
N	Bình thường
A	Bất thường
T	Vận chuyển và lắp đặt
*	An toàn độ mới từng phần (xem 7.6.3)

Khi một phạm vi tốc độ gió được chỉ ra trong Bảng 2, phải xem xét tốc độ gió dẫn đến điều kiện bất lợi nhất cho thiết kế tuabin gió. Phạm vi tốc độ gió có thể được thể hiện bởi tập hợp các giá trị rời rạc, trong trường hợp đó độ phân giải phải đủ để đảm bảo độ chính xác của các tính toán⁸. Liên quan đến định nghĩa các trường hợp tải thiết kế, tham khảo các điều kiện gió mô tả trong Điều 6.

7.4.1 Phát điện (DLC 1.1 – 1.5)

Trong tình huống thiết kế này, tuabin gió đang chạy và được nối với phụ tải điện. Cấu hình tuabin gió giả định phải tính đến sự mất cân bằng rôto. Khối lượng tối đa và sự mất cân bằng khí động học (ví dụ như độ xoay của cánh và độ lệch xoắn) quy định trong chế tạo rôto phải được sử dụng trong các tính toán thiết kế.

Ngoài ra, các độ lệch với các tình huống vận hành tối ưu về lý thuyết như độ xoay tuabin và các lỗi theo dõi hệ thống điều khiển phải được tính đến trong phân tích các tải vận hành.

Các trường hợp tải thiết kế (DLC) 1.1 và 1.2 đưa ra các yêu cầu đối với các tải do luồng xoáy khí quyển gây ra trong quá trình vận hành bình thường của tuabin gió trong suốt tuổi thọ (NTM). DLC 1.3 đưa ra các yêu cầu đối với tải tới hạn do các điều kiện luồng xoáy cực trị gây ra. DLC 1.4 và 1.5 quy định các trường hợp tức thời được chọn là các sự kiện tới hạn tiềm ẩn trong tuổi thọ của tuabin gió.

Phân tích thống kê của dữ liệu mô phỏng DLC 1.1 tối thiểu phải có tính toán cho các giá trị cực trị của mômen trong mặt phẳng và mômen ngoài mặt phẳng của cánh và độ lệch đầu cánh. Nếu các giá trị thiết kế cực trị của các tham số này không vượt quá các giá trị thiết kế cực trị được rút ra đối với DLC 1.3, có thể bỏ qua các phân tích sâu hơn của DLC 1.1.

Nếu các giá trị thiết kế cực trị của các tham số này không vượt quá các giá trị thiết kế cực trị được rút ra đối với DLC 1.3, hệ số c trong công thức (19) đối với mô hình luồng xoáy cực trị sử dụng trong DLC 1.3 có thể tăng lên cho đến khi các giá trị thiết kế cực trị tính được trong DLC 1.3 bằng hoặc vượt quá các giá trị thiết kế cực trị của các tham số tính được trong DLC 1.1.

7.4.2 Phát điện có xuất hiện sự cố hoặc mất kết nối điện lưới (DLC 2.1 – 2.4)

Tình huống thiết kế này liên quan đến sự kiện quá độ được kích hoạt bởi sự cố hoặc mất kết nối điện lưới trong khi tuabin đang phát điện. Bất kỳ sự cố nào trong hệ thống điều khiển và bảo vệ, hoặc sự cố bên trong hệ thống điện, đáng kể đối với tải tuabin gió (ví dụ như ngắn mạch của máy phát) đều phải được xem xét. Đối với DLC 2.1, sự xuất hiện sự cố liên quan đến các chức năng điều khiển hoặc mất kết nối điện lưới được coi là sự kiện bình thường. Đối với DLC 2.2, các sự kiện hiếm, kể cả sự cố liên quan đến các chức năng bảo vệ hoặc các hệ thống điện bên trong phải được coi là bất thường. Đối với DLC 2.3, sự kiện gió lớn tiềm ẩn, EOG, kết hợp với sự cố hệ thống điện bên trong hoặc bên ngoài (kể cả việc mất kết nối điện lưới) đều được coi là một sự kiện bất thường. Trong trường hợp này, thời

⁸ Nói chung độ phân giải là 2 m/s được coi là đủ.

gian của hai sự kiện này phải được chọn để có được trường hợp tải xấu nhất. Nếu sự cố hoặc mất kết nối điện lưới không làm dừng tức thời và việc mang tải tiếp theo có thể dẫn đến hỏng hóc do mỗi đáng kể, thì khoảng thời gian duy trì tình trạng này cùng với hỏng hóc do mỗi gây ra trong điều kiện luồng xoáy bình thường (NTM) phải được đánh giá trong DLC 2.4.

Để thay cho các quy định kỹ thuật của DLC 2.3 nêu trên và trong Bảng 2, DLC 2.3 thay vì được coi là sự kiện bình thường (tức là hệ số an toàn từng phần của tải là 1,35) thì phải được phân tích bằng cách sử dụng các mô phỏng gió ngẫu nhiên ($NTM - V_{in} < V_{hub} < V_{out}$) kết hợp với sự cố hệ thống điện bên trong hoặc bên ngoài (kể cả mất kết nối điện lưới). Trong trường hợp này, phải thực hiện 12 mô phỏng đáp ứng đối với mỗi tốc độ gió trung bình được xét. Đối với mỗi mô phỏng đáp ứng, lấy mẫu đáp ứng cực trị sau khi xảy ra sự cố điện. Sự cố phải được đưa vào sau khi ảnh hưởng của các điều kiện ban đầu đã trở nên không đáng kể. Đối với mỗi tốc độ gió trung bình, đáp ứng cực trị danh nghĩa được đánh giá là trung bình của 12 đáp ứng cực trị được lấy mẫu cộng với ba lần độ lệch chuẩn của 12 mẫu. Giá trị đáp ứng đặc trưng đối với DLC 2.3 được xác định là giá trị cực trị trong các đáp ứng cực trị danh nghĩa.

7.4.3 Khởi động (DLC 3.1 – 3.3)

Tình huống thiết kế này bao gồm tất cả các sự kiện dẫn đến các tải trên tuabin gió trong các quá trình quá độ chuyển từ trạng thái đứng yên hoặc không tải sang phát điện. Số lần xuất hiện được ước lượng dựa trên đáp ứng của hệ thống điều khiển.

7.4.4 Dừng bình thường (DLC 4.1 – 4.2)

Tình huống thiết kế này bao gồm tất cả các sự kiện dẫn đến các tải trên tuabin gió trong các quá trình quá độ chuyển từ trạng thái phát điện sang trạng thái đứng yên hoặc không tải. Số lần xuất hiện được ước lượng dựa trên đáp ứng của hệ thống điều khiển.

7.4.5 Dừng khẩn cấp (DLC 5.1)

Phải xem xét các tải sinh ra do dừng khẩn cấp.

7.4.6 Nghỉ (đứng yên hoặc không tải) (DLC 6.1 – 6.4)

Trong tình huống thiết kế này, rôto của tuabin gió nghỉ đang ở tình trạng đứng yên hoặc chạy không tải. Trong DLC 6.1, 6.2 và 6.3 tình huống này phải được xem xét với mô hình tốc độ gió cực trị (EWM). Đối với DLC 6.4, phải xem xét mô hình luồng xoáy bình thường (NTM).

Đối với trường hợp tải thiết kế, khi các điều kiện gió được xác định bởi EWM, có thể sử dụng mô hình gió cực trị ổn định hoặc mô hình gió cực trị luồng xoáy. Nếu sử dụng mô hình gió cực trị luồng xoáy, thì đáp ứng phải được ước tính khi sử dụng mô phỏng động đầy đủ hoặc phân tích gần ổn định với các điều chỉnh thích hợp đối với gió giật và đáp ứng động bằng cách sử dụng công thức trong ISO 4354.

Nếu sử dụng mô hình gió cực trị ổn định, thì những ảnh hưởng của đáp ứng cộng hưởng phải được

ước tính từ phân tích gần ổn định nêu trên. Nếu tỷ số giữa cộng hưởng và đáp ứng cơ bản (R/B) nhỏ hơn 5%, thì có thể áp dụng phân tích tĩnh sử dụng mô hình gió cực trị ổn định. Nếu độ trượt trong hệ thống xoay tuabin gió có thể xảy ra ở tải đặc trưng, thì độ trượt bất lợi lớn nhất có thể có phải được thêm vào độ xoay tuabin trung bình. Nếu tuabin gió có hệ thống xoay tuabin mà dịch chuyển xoay tuabin dự kiến xảy ra trong các tình huống gió cực trị (như xoay tuabin tự do, xoay tuabin thụ động hoặc xoay tuabin bán tự do), phải sử dụng mô hình gió luồng xoáy, độ xoay tuabin sẽ bị chi phối bởi các thay đổi hướng gió luồng xoáy và đáp ứng động xoay tuabin của tuabin. Ngoài ra, nếu tuabin gió chịu các dịch chuyển xoay tuabin lớn hoặc thay đổi trạng thái thẳng bằng trong quá trình tăng tốc độ gió từ vận hành bình thường tới tình trạng cực trị, đáp ứng này phải được đưa vào phân tích.

Trong DLC 6.1, với tuabin gió có hệ thống xoay tuabin chủ động, độ xoay tuabin lên đến $\pm 15^\circ$ sử dụng mô hình gió cực trị ổn định hoặc với độ xoay tuabin trung bình $\pm 8^\circ$ sử dụng mô hình gió cực trị luồng xoáy là bắt buộc, với điều kiện là có thể đảm bảo không chế chống trượt trong hệ thống xoay tuabin.

Trong DLC 6.2, phải giả định xảy ra mất điện lưới ở giai đoạn đầu trong cơn bão có tình huống gió cực trị. Trừ khi có dự phòng cấp điện cho hệ thống điều khiển và xoay tuabin với khả năng chống xoay tuabin trong khoảng thời gian ít nhất là 6 h, phải phân tích ảnh hưởng của việc thay đổi hướng gió lên đến $\pm 180^\circ$.

Trong DLC 6.3, gió cực trị có tần suất xuất hiện là 1 năm phải được kết hợp với độ xoay tuabin cực trị. Phải giả định độ xoay tuabin cực trị lên đến $\pm 30^\circ$ sử dụng mô hình gió cực trị ổn định hoặc độ xoay tuabin trung bình $\pm 20^\circ$ sử dụng mô hình gió luồng xoáy.

Trong DLC 6.4, phải xem xét số giờ dự kiến của thời gian không phát điện ở tải dao động thích hợp với mỗi tốc độ gió mà hỏng hóc do mỗi đáng kể có thể xảy ra với thành phần bất kỳ (ví dụ từ trọng lượng của các cánh không tải).

7.4.7 Nghi cộng thêm các điều kiện sự cố (DLC 7.1)

Các sai lệch so với đáp ứng bình thường của tuabin gió đang nghỉ, do các sự cố trong lưới điện hoặc trong tuabin gió gây ra, đều phải phân tích. Nếu sự cố bất kỳ khác với mất điện lưới sinh ra sai lệch so với đáp ứng bình thường của tuabin gió trong tình huống nghỉ, những hậu quả có thể có cũng phải được phân tích. Điều kiện sự cố phải được kết hợp với EWM đối với tần suất xuất hiện là một năm. Các điều kiện này phải là luồng xoáy hoặc gần ổn định có điều chỉnh đối với gió giật và đáp ứng động lực.

Trong trường hợp có sự cố trong hệ thống xoay tuabin, phải xem xét độ xoay tuabin $\pm 180^\circ$. Đối với sự cố bất kỳ, độ xoay tuabin phải phù hợp với DLC 6.1.

Nếu độ trượt trong hệ thống xoay tuabin có thể xảy ra ở tải đặc trưng cho trong DLC 7.1, phải xét đến độ trượt bất lợi lớn nhất có thể có.

7.4.8 Vận chuyển, lắp ráp, bảo trì và sửa chữa (DLC 8.1 – 8.2)

Đối với DLC 8.1, nhà chế tạo phải quy định tất cả các điều kiện gió và các tình huống thiết kế được giả định cho việc vận chuyển, lắp ráp vào vị trí làm việc, bảo trì và sửa chữa tuabin gió. Các điều kiện gió tối đa quy định phải được xem xét trong thiết kế nếu chúng có thể sinh ra tải đáng kể trên tuabin. Nhà chế tạo phải cho phép giới hạn đủ lớn giữa các điều kiện quy định và điều kiện gió được xem xét trong thiết kế để cung cấp mức an toàn chấp nhận được. Giới hạn đủ lớn này có thể đạt được bằng cách thêm 5 m/s vào điều kiện gió công bố.

Ngoài ra, DLC 8.2 phải bao gồm tất cả trạng thái tuabin trong khi vận chuyển, lắp ráp, bảo trì và sửa chữa mà có thể kéo dài lâu hơn một tuần. Khi có liên quan, điều này phải gồm cả cột tháp chưa được hoàn thiện hoàn toàn, cột tháp đứng mà chưa có vỏ bọc động cơ và tuabin không có một hoặc nhiều cánh. Có thể giả định rằng tất cả các cánh được lắp đồng thời. Phải giả định rằng không được nối vào điện lưới ở bất kỳ trạng thái nào trong các trạng thái này. Có thể thực hiện các biện pháp để giảm tải trong trạng thái bất kỳ với điều kiện các biện pháp này không yêu cầu kết nối điện lưới.

Các dụng cụ dùng để khóa phải có khả năng chịu được các tải phát sinh từ những tình huống liên quan trong DLC 8.1. Đặc biệt, phải tính đến việc đặt các lực truyền động thiết kế tối đa.

7.5 Tính toán tải

Phải tính đến các tải như mô tả trong 7.3.1 đến 7.3.4 trong từng trường hợp tải thiết kế. Khi có liên quan, cũng phải tính đến các yếu tố sau:

- nhiễu loạn trường gió do chính các tuabin gió gây ra (vận tốc do rẽ khí gây ra, độ che của cột tháp, v.v...);
- ảnh hưởng của luồng gió ba chiều lên các đặc tính khí động của cánh (ví dụ xoay cánh tuabin ba chiều và tổn thất khí động học đầu cánh);
- hiệu ứng khí động học không ổn định;
- động lực học kết cấu và ghép phối các chế độ rung;
- hiệu ứng khí đàn hồi;
- đáp ứng của hệ thống bảo vệ và điều khiển tuabin gió.

Các mô phỏng động sử dụng một mô hình kết cấu động thường được sử dụng để tính các tải tuabin gió. Các trường hợp tải nhất định có đầu vào gió luồng xoáy. Đối với những trường hợp này, tổng thời gian dữ liệu tải phải đủ dài để đảm bảo độ tin cậy thống kê của ước lượng tải đặc trưng. Tối thiểu phải thực hiện sáu lần ngẫu nhiên 10 min (hoặc một giai đoạn 60 min liên tục) đối với mỗi tốc độ gió trung bình tại chiều cao của hub sử dụng trong các mô phỏng. Tuy nhiên, đối với DLC 2.1, 2.2 và 5.1, phải thực hiện ít nhất 12 mô phỏng cho mỗi sự kiện tại tốc độ gió cho trước. Vì các điều kiện ban đầu sử dụng cho các mô phỏng động lực học thường có ảnh hưởng đến thống kê tải trong thời gian đầu của mô phỏng, nên dữ liệu của 5 s đầu tiên (hoặc lâu hơn nếu cần thiết) sẽ không được xem xét trong

khoảng thời gian phân tích bất kỳ liên quan đến đầu vào gió luồng xoáy.

Khi gió luồng xoáy được sử dụng cho các mô phỏng động lực học, phải lưu ý đến độ phân giải của lưới liên quan đến độ phân giải về không gian⁹ và thời gian.

Trong nhiều trường hợp, các biến dạng hoặc các ứng suất cục bộ đối với các vị trí trọng yếu trong thành phần tuabin gió cho trước đồng thời bị chi phối bởi tải theo nhiều trục. Trong trường hợp này, chuỗi thời gian của tải trục giao là đầu ra của các mô phỏng đôi khi được dùng để xác định các tải thiết kế.

Khi các chuỗi thời gian thành phần trục giao như vậy được sử dụng để tính tải môi và tải giới hạn, chúng phải được kết hợp để duy trì cả về pha và độ lớn. Do đó, phương pháp trực tiếp là dựa trên đạo hàm của ứng suất đáng kể theo thời gian. Khi đó, các phương pháp dự báo cực trị và môi có thể được áp dụng cho tín hiệu duy nhất này, tránh các vấn đề về kết hợp tải.

Các thành phần tải giới hạn cũng có thể được kết hợp theo cách bảo toàn với giả thiết các giá trị thành phần cực trị xảy ra đồng thời. Trong trường hợp sử dụng tùy chọn này, cả hai giá trị thành phần cực trị lớn nhất và nhỏ nhất phải được áp dụng trong tất cả các kết hợp có thể có để tránh dẫn đến tình trạng không bảo toàn.

Chỉ dẫn về đạo hàm các tải thiết kế cực trị từ các tải đồng thời lấy từ một số lần thực hiện ngẫu nhiên được đưa ra trong Phụ lục H.

7.6 Phân tích trạng thái tới hạn biên

7.6.1 Phương pháp

Các hệ số an toàn từng phần phản ánh độ không đảm bảo và tính dễ thay đổi về tải và vật liệu, độ không đảm bảo của phương pháp phân tích và tầm quan trọng của các thành phần kết cấu liên quan đến các hậu quả của sự cố.

7.6.1.1 Hệ số an toàn từng phần đối với tải và vật liệu

Để đảm bảo an toàn, các giá trị thiết kế đối với độ không đảm bảo và tính dễ thay đổi về tải và vật liệu phải được tính đến bởi các hệ số an toàn từng phần được xác định trong các công thức (28) và (29).

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

trong đó:

⁹ Liên quan đến độ phân giải không gian, khoảng cách tối đa giữa các điểm lân cận phải nhỏ hơn 25 % Λ_1 (công thức (5)) và không lớn hơn 15% đường kính roto. Khoảng cách này được hiểu là khoảng cách đường chéo giữa các điểm trong mỗi mặt lưới được xác định bởi bốn điểm. Trong trường hợp lưới không đồng nhất, giá trị trung bình trên mặt phẳng roto giữa các điểm trong lưới có thể được coi là độ phân giải không gian đại diện, nhưng khoảng cách này phải luôn luôn giảm về phía đầu cánh.

F_d là giá trị thiết kế đối với các tập hợp tải bên trong hoặc đáp ứng tải với nhiều thành phần tải đồng thời từ các nguồn khác nhau trong trường hợp tải thiết kế cho trước;

γ_r là hệ số an toàn từng phần của các tải,

F_k là giá trị đặc trưng của tải.

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

trong đó:

f_d là giá trị thiết kế của vật liệu;

γ_m là hệ số an toàn từng phần của vật liệu,

f_k giá trị đặc trưng của các thuộc tính vật liệu.

Các hệ số an toàn từng phần của tải sử dụng trong tiêu chuẩn này có tính đến

- độ lệch/độ không đảm bảo bất lợi nhất có thể có của tải so với giá trị đặc trưng;
- độ không đảm bảo trong mô hình tải.

Các hệ số an toàn riêng phần của vật liệu sử dụng trong tiêu chuẩn này, như trong ISO 2394, có tính đến

- độ lệch/độ không đảm bảo bất lợi nhất có thể có của độ bền vật liệu so với giá trị đặc trưng;
- đánh giá không chính xác có thể có của khả năng chịu đựng của các phần hoặc khả năng mang tải của các bộ phận của kết cấu;
- độ không đảm bảo trong các tham số hình học;
- độ không đảm bảo trong mối tương quan giữa các thuộc tính vật liệu trong kết cấu và các thuộc tính vật liệu đo được bằng các thử nghiệm trên các mẫu thử;
- độ không đảm bảo trong các hệ số chuyển đổi.

Độ không đảm bảo khác nhau này đôi khi được tính đến bởi các hệ số an toàn từng phần riêng rẽ, nhưng trong tiêu chuẩn này cũng như trong hầu hết tiêu chuẩn khác, các hệ số liên quan đến tải được kết hợp thành một hệ số γ_r và các hệ số liên quan đến vật liệu thành một hệ số γ_m .

7.6.1.2 Hệ số an toàn từng phần đối với hậu quả sự cố và các phân loại thành phần

Hệ số hậu quả sự cố, γ_n , được đưa ra để phân biệt giữa:

- Thành phần loại 1: được sử dụng cho các thành phần kết cấu "hồng-an toàn" mà sự cố của các kết cấu này không dẫn đến sự cố bộ phận chính của tuabin gió, ví dụ các ổ bi có thể thay thế có giám sát.
- Thành phần loại 2: được sử dụng cho các thành phần kết cấu "hồng-không an toàn" mà các sự cố

TCVN 10687-1:2015

có thể dẫn đến sự cố một bộ phận chính của tuabin gió.

– Thành phần loại 3: được sử dụng cho các thành phần cơ khí “hồng-không an toàn” mà liên kết cơ cấu truyền động và phanh với các thành phần kết cấu chính nhằm mục đích thực hiện các chức năng bảo vệ tuabin gió không có dự phòng mô tả trong 8.3.

Hệ số hậu quả sự cố phải có trong tải thử nghiệm khi thực hiện các thử nghiệm như, ví dụ, thử nghiệm cánh tỷ lệ thực.

Đối với phân tích trạng thái giới hạn biên của tuabin gió, bốn loại phân tích sau phải được thực hiện khi có liên quan:

- phân tích giới hạn độ bền (xem 7.6.2);
- phân tích sự cố do mỏi (xem 7.6.3);
- phân tích độ ổn định (độ uốn, v.v...) (xem 7.6.4);
- phân tích độ lệch tới hạn (trở ngại cơ khí giữa cánh và cột tháp, v.v...) (xem 7.6.5).

Mỗi loại phân tích yêu cầu công thức khác nhau của hàm trạng thái giới hạn và xử lý các nguồn gây ra độ không đảm bảo khác nhau trong suốt quá trình sử dụng các hệ số an toàn.

7.6.1.3 Áp dụng các mã vật liệu được công nhận

Khi xác định tính toàn vẹn kết cấu của các phần tử của tuabin gió, có thể sử dụng các mã thiết kế quốc gia hoặc quốc tế cho các vật liệu liên quan. Cần đặc biệt lưu ý khi sử dụng các hệ số an toàn từng phần theo các mã thiết kế quốc gia hoặc quốc tế cùng với các hệ số an toàn từng phần của tiêu chuẩn này. Phải đảm bảo rằng mức an toàn cuối cùng không ít hơn so với mức an toàn dự kiến trong tiêu chuẩn này.

Các mã khác nhau chia các hệ số an toàn từng phần của vật liệu, γ_M , thành một vài hệ số vật liệu thể hiện các loại độ không đảm bảo riêng rẽ, ví dụ sự thay đổi vốn có của độ bền vật liệu, quy mô kiểm soát sản xuất hay phương pháp sản xuất. Các hệ số vật liệu được cho trong tiêu chuẩn này tương ứng với “các hệ số an toàn từng phần chung của vật liệu” thể hiện sự thay đổi vốn có của các tham số độ bền. Nếu các mã đưa ra các hệ số an toàn từng phần hoặc sử dụng các hệ số giảm nhẹ trên các giá trị đặc trưng để thể hiện các độ không đảm bảo khác, thì độ không đảm bảo này cũng phải được tính đến.

Các mã riêng có thể chọn các phân tích khác nhau của các hệ số an toàn từng phần trên các bộ phận tải và vật liệu của việc kiểm tra xác nhận thiết kế. Việc chia các hệ số dự kiến ở đây được xác định theo ISO 2394. Nếu việc chia các hệ số trong mã lựa chọn có sai lệch so với ISO 2394, thì các điều chỉnh cần thiết trong mã lựa chọn phải được tính đến khi kiểm tra xác nhận theo tiêu chuẩn này.

7.6.2 Phân tích độ bền tới hạn

Hàm trạng thái giới hạn có thể được tách thành các hàm tải và hàm độ bền S và R sao cho điều kiện

trở thành

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

Độ bền R thường tương ứng với các giá trị thiết kế tối đa cho phép của độ bền vật liệu, do đó $R(f_d) = f_d$, trong khi hàm S để phân tích giới hạn bền thường được định nghĩa là giá trị cao nhất của các đáp ứng kết cấu, do đó $S(F_d) = F_d$. Công thức sau đó trở thành

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

Lưu ý rằng γ_n là kết quả của hệ số sự cố mà không được coi là hệ số an toàn của vật liệu.

Đối với mỗi thành phần tuabin gió được đánh giá và đối với mỗi trường hợp tải trong Bảng 2, khi việc phân tích độ bền giới hạn là thích hợp, điều kiện trạng thái giới hạn trong công thức (31) phải được kiểm tra so với trạng thái giới hạn tới hạn nhất, được xác định trên cơ sở có giới hạn biên tối thiểu.

Trong các trường hợp tải liên quan đến dòng luồng xoáy khi cho trước một dải các tốc độ gió, xác suất vượt quá đối với tải đặc trưng phải được tính toán có xét đến phân bố tốc độ gió cho trong 6.3.1.1. Do nhiều tính toán tải sẽ cần đến các mô phỏng ngẫu nhiên trong khoảng thời gian giới hạn, tải đặc trưng xác định cho tần suất xuất hiện yêu cầu có thể lớn hơn giá trị bất kỳ tính được trong mô phỏng. Hướng dẫn tính toán các tải đặc trưng sử dụng dòng luồng xoáy được nêu trong Phụ lục F.

Đối với DLC 1.1, giá trị tải đặc trưng được xác định bằng phép ngoại suy tải theo thống kê và tương ứng với xác suất vượt quá ít hơn hoặc bằng $3,8 \times 10^{-7}$, đối với giá trị lớn nhất trong khoảng thời gian 10 min bất kỳ (tức là tần suất xuất hiện là 50 năm) cho các tình huống thiết kế bình thường.

Dữ liệu được sử dụng trong phương pháp ngoại suy được lấy ra từ chuỗi thời gian của các mô phỏng tuabin trong thời gian ít nhất 10 min trên phạm vi vận hành của tuabin đối với DLC 1.1. Yêu cầu tối thiểu 15 mô phỏng cho mỗi tốc độ gió từ ($V_{rated} - 2$ m/s) đến khi cắt và yêu cầu 6 mô phỏng cho mỗi tốc độ gió thấp hơn ($V_{rated} - 2$ m/s). Khi lấy dữ liệu, nhà thiết kế phải xem xét ảnh hưởng độc lập giữa các đỉnh trên phép ngoại suy và giảm thiểu sự phụ thuộc khi có thể. Nhà thiết kế phải tổng hợp dữ liệu và các phân bố xác suất để tạo thành một phân bố dài hạn nhất quán. Để đảm bảo ước lượng ổn định các tải dài hạn, phải áp dụng tiêu chí hội tụ cho một phân vị xác suất nhỏ hơn mô hình dữ liệu đối với các phân bố vượt quá ngắn hạn hoặc dài hạn. Để được hướng dẫn, xem Phụ lục F.

Giá trị đặc trưng đối với các mômen trong mặt phẳng và ngoài mặt phẳng của cánh và độ lệch đầu cánh có thể được xác định bằng một qui trình đơn giản¹⁰. Sau đó, giá trị đặc trưng có thể được xác định bằng cách tính trung bình các cực trị đối với mỗi bin 10 min và sử dụng giá trị lớn nhất, nhân với hệ số ngoại suy 1,5, trong khi duy trì hệ số tải từng phần đối với phép ngoại suy tải theo thống kê, xem Bảng 3.

¹⁰ Cách tiếp cận này được coi là bảo toàn đối với các tuabin gió 3 cánh ngược gió. Cần thận trọng đối với các khái niệm tuabin gió khác.

Đối với các trường hợp tải có các sự kiện trường gió xác định quy định, giá trị đặc trưng của tải phải là giá trị quá độ tính được cho trường hợp xấu nhất. Khi sử dụng dòng luồng xoáy, phải lấy giá trị trung bình trong số các tải tính được cho trường hợp xấu nhất đối với các thực hiện ngẫu nhiên 10 min khác nhau, ngoại trừ đối với DLC 2.1, 2.2 và 5.1, khi đó giá trị đặc trưng của tải phải là giá trị trung bình của một nửa các tải tối đa lớn nhất.

7.6.2.1 Hệ số an toàn từng phần cho các tải

Các hệ số an toàn từng phần cho các tải tối thiểu phải là các giá trị quy định trong Bảng 3.

Bảng 3 – Hệ số an toàn từng phần cho các tải γ_i

Tải không thuận lợi			Tải thuận lợi ¹¹
Loại tình huống thiết kế (xem Bảng 2)			Tất cả các tình huống thiết kế
Bình thường (N)	Bất thường (A)	Vận chuyển và lắp dựng (T)	
1,35*	1,1	1,5	0,9
* Đối với trường hợp tải thiết kế DLC 1.1, biết rằng các tải được xác định sử dụng ngoại suy tải theo thống kê ở các tốc độ gió quy định nằm giữa V_{in} và V_{out}, hệ số tải từng phần đối với các tình huống thiết kế bình thường phải là $\gamma_i = 1,25$. Nếu đối với các tình huống thiết kế bình thường, giá trị đặc trưng của đáp ứng tải $F_{gravity}$ do lực hấp dẫn có thể được tính cho tình huống thiết kế đang xét, và lực hấp dẫn là tải không thuận lợi, hệ số tải từng phần đối với tải kết hợp từ lực hấp dẫn và các nguồn khác có thể có giá trị $\gamma = \begin{cases} 1 - \left \frac{F_{gravity}}{F_k} \right ; & F_{gravity} \leq F_k \\ 0; & F_{gravity} > F_k \end{cases}$			

Cách tiếp cận trong 7.6.1.1, ở đó hệ số an toàn từng phần của các tải được áp dụng cho đáp ứng tải, giả thiết rằng việc thể hiện thích hợp đáp ứng động học là mối quan tâm chính. Đối với các nền móng hoặc khi việc thể hiện thích hợp đáp ứng vật liệu không tuyến tính hoặc sự không tuyến tính về hình dạng hoặc cả hai đều là mối quan tâm chính thì đáp ứng tải thiết kế S_d phải có được từ phân tích kết cấu đối với kết hợp các tải thiết kế F_d , trong đó tải thiết kế có được bằng cách nhân các tải đặc trưng F_k với hệ số tải từng phần quy định γ_i đối với các tải thuận lợi và không thuận lợi,

$$F_d = \gamma_i F_k$$

¹¹ Các tải lực kéo căng trước và tải lực hấp dẫn làm giảm đáng kể đáp ứng tải tổng thì được coi là các tải thuận lợi. Trong trường hợp cả tải thuận lợi (F_{fav}) và không thuận lợi (F_{unfav}), công thức (30) trở thành

$$\gamma_n S(\gamma_{f, unfav} F_{k, unfav}, \gamma_{f, fav} F_{k, fav}) \leq R(f_d)$$

Các đáp ứng tải trong cột tháp tại giao diện (các lực trượt và momen uốn) được lấy hệ số với γ_I từ Bảng 3 phải được áp dụng như các điều kiện biên.

Đối với các nền móng chịu trọng lực, các quy định giới hạn xem xét ổn định tổng thể (dịch chuyển thân cứng không làm hỏng trong đất) và khả năng chịu lực của đất và nền móng được chú ý và tính toán theo tiêu chuẩn đã công nhận. Nói chung, hệ số an toàn từng phần $\gamma_I = 1,1$ đối với các tải thường xuyên không thuận lợi và $\gamma_I = 0,9$ đối với các tải thường xuyên thuận lợi được áp dụng cho các tải nền móng, lấp đất và đắp nổi. Nếu có thể được chứng minh bằng quản lý chất lượng và giám sát chất lượng tương ứng rằng mật độ vật liệu nền móng quy định trong tài liệu thiết kế được đáp ứng tại chỗ thì hệ số an toàn từng phần đối với tải nền móng thường xuyên $\gamma_I = 1,0$ có thể được sử dụng cho các trạng thái giới hạn về khả năng chịu lực của đất và nền móng. Nếu việc đắp nổi được tính bằng mực nước địa hình, thì có thể áp dụng hệ số an toàn từng phần cho việc đắp nổi là $\gamma_I = 1,0$.

Một cách khác, kiểm tra khả năng chịu lực của đất và nền móng có thể dựa trên hệ số an toàn từng phần $\gamma_I = 1,0$ cho cả tải thường xuyên thuận lợi và không thuận lợi và kiểm tra tính ổn định tổng thể có thể dựa trên hệ số an toàn từng phần $\gamma_I = 1,1$ cho các tải thường xuyên không thuận lợi và $\gamma_I = 0,9$ cho các tải thường xuyên thuận lợi, sử dụng trong mọi trường hợp các ước lượng bảo toàn của khối lượng hoặc mật độ xác định là các điểm phân vị 5 %/95 %. Điểm phân vị giới hạn dưới được sử dụng khi tải là thuận lợi. Điểm phân vị giới hạn trên được sử dụng khi tải là không thuận lợi.

Sử dụng các hệ số an toàn từng phần cho các tải đối với các tình huống thiết kế bình thường và bất thường quy định trong Bảng 3 đòi hỏi mô hình tính toán tải được kiểm tra xác nhận bằng các phép đo tải. Các phép đo này phải được thực hiện trên tuabin gió tương tự như thiết kế tuabin gió đang xét về mặt đáp ứng khí động học, điều khiển và động học.

7.6.2.2 Hệ số an toàn riêng phần đối với các vật liệu không có sẵn mã thiết kế đã được công nhận

Các hệ số an toàn riêng phần của các vật liệu phải được xác định liên quan đến sự đầy đủ của dữ liệu thử nghiệm của các thuộc tính vật liệu sẵn có. Giá trị của hệ số an toàn từng phần tổng quát của các vật liệu, γ_M , thể hiện sự thay đổi vốn có của tham số độ bền phải là

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

Khi áp dụng cho các thuộc tính vật liệu đặc trưng có xác suất tồn tại 95 %, p, với giới hạn độ tin cậy 95 %¹². Giá trị này áp dụng cho các thành phần có hoạt tính động dễ uốn¹³ mà hỏng chúng có thể dẫn đến

¹² Các tham số độ bền đặc trưng cần được chọn là các phân vị 95 % (được xác định với độ tin cậy 95 %) hoặc giá trị chứng nhận cho vật liệu có các quy trình đã được thiết lập để thử nghiệm các mẫu đại diện.

¹³ Hành vi dễ uốn không chỉ là các vật liệu dễ uốn mà còn có các thành phần đáp ứng như các vật liệu dễ uốn, do, ví dụ như sự thừa bên trong.

TCVN 10687-1:2015

hồng bộ phận chính của tuabin gió, ví dụ cột tháp hình ống được hàn, kết nối mặt bích cột tháp, khung máy được hàn hoặc các kết nối cánh. Các kiểu hồng học có thể bao gồm:

- độ võng của các vật liệu dễ uốn;
- gãy bu lông trong kết nối bằng bu lông có số lượng bu lông đủ lớn để cung cấp $1/\gamma_m$ độ bền sau sự cố của một bu lông duy nhất.

Đối với các thành phần kết cấu/cơ khí "hồng không an toàn" có đáp ứng không dễ uốn mà hồng các thành phần này sẽ nhanh chóng dẫn đến hồng bộ phận chính của tuabin gió, hệ số an toàn chung của các vật liệu phải không nhỏ hơn:

- 1,2 đối với độ uốn tổng thể của các vỏ uốn cong ví dụ như các cột tháp hình ống và các cánh, và
- 1,3 đối với nứt vỡ do vượt quá độ bền kéo hoặc nén.

Để rút ra các hệ số an toàn từng phần tổng thể của vật liệu từ hệ số tổng thể này, cần phải tính đến các hiệu ứng tỷ lệ, dung sai và suy giảm do các hoạt động bên ngoài, ví dụ như bức xạ tia cực tím hoặc độ ẩm và các sai hồng mà thường không được phát hiện.

Các hệ số an toàn từng phần đối với các hậu quả sự cố:

Thành phần loại 1: $\gamma_n = 0,9$

Thành phần loại 2: $\gamma_n = 1,0$

Thành phần loại 3: $\gamma_n = 1,3$

7.6.2.3 Hệ số an toàn riêng phần của các vật liệu có sẵn mã thiết kế đã được công nhận

Các hệ số an toàn riêng phần kết hợp đối với các tải, vật liệu và hậu quả sự cố, γ_f , γ_m và γ_n , không được nhỏ hơn giá trị quy định trong 7.6.2.1 và 7.6.2.2.

7.6.3 Hồng học do môi

Hồng học do môi phải được ước lượng bằng cách sử dụng tính toán hồng học do môi thích hợp. Ví dụ, trong trường hợp quy tắc Miner, đạt đến trạng thái giới hạn khi hồng học tích lũy vượt quá 1. Do đó, trong trường hợp này, hồng học được tích lũy trong suốt tuổi thọ thiết kế của tuabin phải nhỏ hơn hoặc bằng 1. Các tính toán hồng học do môi phải xét đến biểu thức, bao gồm các ảnh hưởng của cả các mức giới hạn chu kỳ và các mức sức căng trung bình (hoặc ứng suất trung bình). Tất cả các hệ số an toàn từng phần (tải, vật liệu và hậu quả sự cố) phải được áp dụng cho giới hạn sức căng (hoặc ứng suất) chu kỳ để đánh giá độ gia tăng hồng học liên quan đến mỗi chu kỳ môi. Ví dụ về biểu thức dùng cho quy tắc Miner được nêu trong Phụ lục G.

7.6.3.1 Hệ số an toàn từng phần cho các tải

Hệ số an toàn từng phần cho các tải γ_f phải là 1,0 đối với tất cả các tình huống thiết kế bình thường và bất thường.

7.6.3.2 Hệ số an toàn riêng phần của các vật liệu không có sẵn mã đã được công nhận

Hệ số an toàn từng phần cho vật liệu, γ_M phải ít nhất là 1,5 với điều kiện đường cong SN dựa trên xác suất tồn tại 50 % và hệ số biến động <15 %.

Đối với các thành phần mà độ bền môi¹⁴ có hệ số biến động lớn, tức là 15 % đến 20 % (đối với nhiều thành phần làm bằng vật liệu tổng hợp, ví dụ bê tông cốt thép hoặc sợi tổng hợp), hệ số an toàn từng phần γ_M phải được tăng lên tương ứng và tối thiểu đến 1,7.

Các độ bền môi phải được rút ra từ một số lượng thống kê đáng kể các thử nghiệm và đạo hàm của các giá trị đặc trưng phải tính đến các hiệu ứng tỷ lệ, các dung sai, suy giảm do các hoạt động bên ngoài như bức xạ tia cực tím, và các sai hỏng mà bình thường có thể không phát hiện được.

Đối với thép hàn và thép kết cấu, trước đây xác suất tồn tại 97,7 % được sử dụng làm cơ sở cho các đường cong SN. Trong trường hợp này g_m có thể được lấy là 1,1. Trong các trường hợp, khi có thể phát hiện sự phát triển nứt gãy nguy hiểm nhờ việc đưa vào chương trình kiểm tra định kỳ, có thể sử dụng giá trị thấp hơn của g_m . Trong mọi trường hợp, g_m phải lớn hơn 0,9.

Đối với sợi tổng hợp, phân bố độ bền phải được thiết lập từ dữ liệu thử nghiệm cho vật liệu thực tế. Xác suất tồn tại 95 % với độ tin cậy 95 % phải được sử dụng như làm cơ sở cho đường cong SN. Trong trường hợp đó g_m có thể được lấy là 1,2. Cách tiếp cận tương tự có thể được sử dụng cho các vật liệu khác.

Các hệ số an toàn từng phần cho các hậu quả sự cố:

Thành phần loại 1: $\gamma_n = 1,0$

Thành phần loại 2: $\gamma_n = 1,15$

Thành phần loại 3: $\gamma_n = 1,3$.

7.6.3.3 Hệ số vật liệu riêng phần có sẵn các mã thiết kế đã được công nhận

Các hệ số an toàn riêng phần kết hợp của các tải, vật liệu và hậu quả sự cố không được nhỏ hơn các giá trị quy định trong 7.6.3.1 và 7.6.3.2, có xét đến các điểm phân vị quy định trong mã.

7.6.4 Tính ổn định

Các bộ phận mang tải của các thành phần "hỏng không an toàn" không được bị biến dạng khi chịu tải thiết kế. Đối với tất cả các thành phần khác, biến dạng đàn hồi khi chịu tải thiết kế là chấp nhận được. Biến dạng không được xảy ra trong bất kỳ thành phần nào khi chịu tải đặc trưng.

Giá trị tối thiểu của hệ số an toàn riêng phần cho các tải, γ_L , phải được chọn phù hợp với 7.6.2.1 để thu được giá trị thiết kế. Các hệ số an toàn từng phần của vật liệu không được nhỏ hơn giá trị quy định trong 7.6.2.2.

¹⁴ Độ bền môi được xác định ở đây theo dải ứng suất kết hợp với số các chu kỳ cho trước.

7.6.5 Phân tích độ lệch tới hạn

7.6.5.1 Quy định chung

Phải kiểm tra xác nhận rằng không có độ lệch nào ảnh hưởng đến tính toán vệt kết cấu trong các điều kiện thiết kế nêu chi tiết trong Bảng 2.

Độ lệch đàn hồi tối đa theo hướng bất lợi phải được xác định cho các trường hợp tải nêu trong Bảng 2 bằng cách sử dụng các tải đặc trưng. Sau đó, độ lệch xác định được nhân với hệ số an toàn từng phần kết hợp đối với các tải, vật liệu và hậu quả sự cố.

- Hệ số an toàn từng phần, cho các tải

Các giá trị γ_f phải được chọn từ Bảng 3.

- Hệ số an toàn từng phần cho các thuộc tính đàn hồi của vật liệu

Giá trị γ_m phải là 1,1 trừ khi các thuộc tính đàn hồi của thành phần đang xét đã được xác định bằng thử nghiệm và giám sát, trong trường hợp đó giá trị này có thể được giảm xuống. Phải đặc biệt lưu ý đến độ không đảm bảo về hình dạng và độ chính xác của phương pháp tính toán sai lệch.

- Hệ số an toàn từng phần cho hậu quả sự cố

Thành phần loại 1: $\gamma_n = 1,0$

Thành phần loại 2: $\gamma_n = 1,0$

Thành phần loại 3: $\gamma_n = 1,3$.

Sau đó, độ lệch đàn hồi phải được cộng với vị trí không lệch theo hướng bất lợi nhất và vị trí tạo thành được so sánh với yêu cầu đối với vị trí khi không có tác động.

7.6.5.2 Độ lệch (đầu) cánh

Một trong những lưu ý quan trọng nhất là nhằm kiểm tra xác nhận rằng sẽ không xảy ra sự va chạm cơ học giữa cánh và cột tháp.

Nói chung, độ lệch cánh phải được tính cho các trường hợp tải giới hạn cũng như cho các trường hợp tải môi. Độ lệch do các trường hợp tải giới hạn có thể được tính toán dựa trên các mô hình chùm tia, mô hình FE hoặc tương tự. Tất cả các trường hợp tải liên quan trong Bảng 2 phải được tính đến với các hệ số an toàn tải riêng phần liên quan.

Hơn nữa, đối với trường hợp tải 1.1 ngoại suy độ lệch đầu cánh là bắt buộc theo 7.4.1. Có thể sử dụng phân tích độ lệch động trực tiếp. Xác suất vượt quá theo hướng bất lợi nhất phải tương tự với độ lệch đặc trưng như đối với tải đặc trưng. Sau đó, độ lệch đặc trưng được nhân với hệ số an toàn kết hợp của các tải, vật liệu và hậu quả sự cố và được bổ sung vào vị trí không bị lệch theo hướng bất lợi nhất và vị trí tạo ra so với yêu cầu đối với trường hợp không có tác động.

7.6.6 Hệ số an toàn từng phần đặc biệt

Các giới hạn dưới của hệ số an toàn từng phần của các tải có thể được sử dụng khi các độ lớn tải được thiết lập bằng cách đo hoặc bằng phân tích được xác nhận bởi phép đo có độ tin cậy cao hơn bình thường. Các giá trị của tất cả các hệ số an toàn từng phần được sử dụng phải được quy định trong tài liệu thiết kế.

8 Hệ thống điều khiển và bảo vệ

8.1 Quy định chung

Vận hành và an toàn tuabin gió phải được quản lý bởi hệ thống bảo vệ và điều khiển đáp ứng các yêu cầu của điều này.

Sự can thiệp bằng tay hoặc tự động không được làm ảnh hưởng đến các chức năng bảo vệ. Thiết bị bất kỳ cho phép can thiệp bằng tay phải có thể nhìn thấy và nhận biết rõ ràng, bằng ghi nhãn thích hợp ở nơi cần thiết.

Việc cài đặt hệ thống điều khiển và bảo vệ phải được bảo vệ chống các can thiệp trái phép.

8.2 Chức năng điều khiển

Các chức năng điều khiển tuabin gió phải điều khiển việc vận hành theo cách chủ động hoặc bị động và giữ các tham số vận hành trong giới hạn bình thường của chúng. Khi có thể chọn chế độ điều khiển, ví dụ để bảo trì, từng chế độ phải được ưu tiên hơn so với tất cả các cơ cấu điều khiển khác, ngoại trừ nút dừng khẩn cấp. Việc chọn chế độ phải được quản lý bởi cơ cấu lựa chọn mà có thể bị khóa tại mỗi vị trí tương ứng với một chế độ duy nhất. Khi một số chức năng nhất định được điều khiển số, phải cung cấp các mã truy cập để lựa chọn chức năng một cách thích hợp.

Các chức năng điều khiển có thể quản lý hoặc hạn chế các chức năng hoặc tham số như

- công suất;
- tốc độ rôto;
- kết nối của phụ tải điện;
- qui trình khởi động và dừng;
- xoắn cáp;
- điều chỉnh theo hướng gió.

8.3 Chức năng bảo vệ

Các chức năng bảo vệ phải được kích hoạt như một kết quả sự cố của chức năng điều khiển hoặc của các ảnh hưởng sự cố bên trong hoặc bên ngoài hoặc sự kiện nguy hiểm. Các chức năng bảo vệ phải duy trì tuabin gió ở trong tình trạng an toàn. Các mức kích hoạt cho các chức năng bảo vệ phải được thiết lập theo cách để các giới hạn thiết kế không bị vượt quá.

TCVN 10687-1:2015

Các chức năng bảo vệ phải có ưu tiên cao hơn so với các chức năng điều khiển, nhưng không cao hơn nút dừng khẩn cấp, trong việc tiếp cận các hệ thống phanh và thiết bị ngắt kết nối mạng khi được kích hoạt.

Các chức năng bảo vệ phải được kích hoạt trong các trường hợp như sau:

- quá tốc độ;
- quá tải hoặc sự cố máy phát;
- rung quá mức;
- xoắn cáp bất thường (do xoay tuabin làm quay vỏ tuabin).

Các chức năng bảo vệ phải được thiết kế cho vận hành hồng một cách an toàn. Nhìn chung, các chức năng bảo vệ có thể bảo vệ tuabin gió khỏi sự cố đơn bất kỳ hoặc sự cố nguồn điện hoặc trong bất kỳ thành phần không an toàn trong suốt tuổi thọ nào trong các hệ thống thực hiện các chức năng bảo vệ. Sự cố đơn bất kỳ trong các cảm biến hoặc các bộ phận kết cấu không an toàn trong suốt tuổi thọ của các hệ thống thực hiện các chức năng điều khiển sẽ không dẫn đến sự cố các chức năng bảo vệ.

Nếu có nhiều hơn hai sự cố phụ thuộc lẫn nhau hoặc có một nguyên nhân phổ biến, thì chúng được coi là một sự cố đơn.

Các biện pháp phải được thực hiện để giảm rủi ro khỏi các sự cố tiềm ẩn. Thành phần không an toàn trong suốt tuổi thọ trong các hệ thống thực hiện các chức năng bảo vệ phải không đáp ứng điều kiện an toàn hoặc điều kiện của chúng phải được giám sát tự động; trong cả hai trường hợp, sự cố của chúng phải làm dừng tuabin. Các thành phần được thiết kế an toàn trong suốt tuổi thọ phải được kiểm tra trong các khoảng thời gian thích hợp.

Tất cả các thành phần không an toàn trong suốt tuổi thọ cần thiết để thực hiện các chức năng bảo vệ không dự phòng phải được xét đến trong thành phần loại 3 có một hệ số an toàn từng phần hậu quả sự cố thích hợp được quy định tại 7.6. Tất cả các thành phần tới hạn trong hệ thống bảo vệ như vậy phải được phân tích cho độ bền giới hạn, độ mỏi, độ uốn và độ lệch tới hạn.

Trong trường hợp có mâu thuẫn, chức năng bảo vệ phải được ưu tiên hơn chức năng điều khiển.

Không thể tự động khởi động hoặc khởi động từ xa tuabin gió khi việc dừng được xuất phát từ một sự cố hoặc tác động ngắt bên trong mà chúng ảnh hưởng lớn đối với sự an toàn tuabin. Nếu một sự cố hay tác động ngắt như thế kéo theo ngắt điện lưới hay mất tải thì không thể tự khởi động lại sau khi phục hồi lưới điện hoặc tải.

Nút dừng khẩn cấp, tại đó sẽ bỏ qua các chức năng điều khiển, phải làm cho rôto dừng hẳn ở bất kỳ tốc độ gió nhỏ hơn giới hạn tốc độ gió xác định để bảo trì và sửa chữa, xem 7.4.8, và tối thiểu phải trở về chế độ không tải từ tình trạng làm việc bất kỳ. Ngoài ra, kích hoạt nút dừng khẩn cấp phải cắt điện các hệ thống trung áp và cao áp. Các nút dừng khẩn cấp phải được lắp đặt tại từng vị trí làm việc chính (như vỏ bọc động cơ và chân cột tháp). Nhà nút dừng khẩn cấp bất kỳ sau khi sử dụng đòi hỏi

có hành động thích hợp. Sau khi nhả, chỉ có thể khởi động lại một cách tự động sau khi giải trừ sự cố bằng tay.

8.4 Hệ thống phanh

Hệ thống phanh phải có thể đưa rôto vào chế độ không tải hoặc dừng hoàn toàn từ điều kiện vận hành bất kỳ. Phải có phương tiện để làm cho rôto dừng hẳn từ trạng thái không tải nguy hiểm ở tốc độ gió bất kỳ nhỏ hơn giới hạn tốc độ gió xác định để bảo trì và sửa chữa, xem 7.4.8.

Khuyến cáo rằng tối thiểu phải có một hệ thống phanh vận hành theo một nguyên lý khí động học, để tác động trực tiếp lên rôto. Nếu khuyến cáo này không đáp ứng được, thì tối thiểu một hệ thống phanh phải tác động trên trục rôto hoặc trên rôto của tuabin gió.

Hệ thống phanh phải được thiết kế để thực hiện chức năng ngay cả khi nguồn điện bên ngoài của chúng bị hỏng. Phanh phải có khả năng giữ cho rôto ở vị trí dừng hoàn toàn đối với các điều kiện gió xác định trong ít nhất một giờ sau khi phanh. Trong thời gian mất điện lâu hơn, có thể sử dụng phanh bằng một nguồn cung cấp phụ trợ hoặc thao tác bằng tay.

9 Hệ thống cơ khí

9.1 Quy định chung

Một hệ thống cơ khí cho các mục đích của tiêu chuẩn này là hệ thống bất kỳ, không bao gồm các thành phần kết cấu tĩnh, hay các thành phần điện, mà sử dụng hoặc truyền chuyển động tương đối thông qua kết hợp các trục, liên kết, ổ bi, ổ trượt, bánh răng và các bộ phận khác. Trong tuabin gió, các hệ thống này có thể bao gồm các phần tử hệ thống truyền động như các hộp số, trục và khớp nối, và các bộ phận phụ trợ như hệ thống phanh, điều khiển độ xoay cánh, điều khiển xoay tuabin. Các bộ phận phụ trợ có thể được điều khiển bằng điện, thủy lực hoặc khí nén.

Tất cả hệ thống cơ khí trong hệ thống truyền động và trong hệ thống điều khiển và bảo vệ phải được thiết kế theo các tiêu chuẩn quốc gia hoặc IEC/ISO liên quan khi sẵn có. Nếu không, phải sử dụng các tiêu chuẩn đã công nhận. Các hệ số an toàn từng phần phải phù hợp với thành phần loại 2 trong 7.6.1.2, trừ khi các hệ thống rơi vào thành phần loại 3.

Phải đặc biệt thận trọng để đảm bảo hệ thống làm mát và lọc có thể duy trì các điều kiện vận hành liên quan trong suốt dải nhiệt độ vận hành khi thực hiện các qui trình bảo trì quy định.

Tuổi thọ còn lại của thành phần bất kỳ chịu mài mòn trong hệ thống phanh phải được theo dõi tự động và chịu sự kiểm tra thường xuyên. Tuabin phải được nghỉ khi không đủ điều kiện để dừng khẩn cấp thêm nữa. Tất cả các bộ phận phanh phải được thiết kế và bảo trì để giữ cho thời gian đáp ứng trong phạm vi mức chấp nhận được.

Tính toán tải phải được dựa trên các mô phỏng bao gồm cả mức hãm trung bình và mức hãm tối thiểu cho phép đối với ma sát tối thiểu và áp lực đặt vào được dự kiến cho thiết kế. Nếu phanh có thể trượt

TCVN 10687-1:2015

ở mức hãm tối thiểu, thì khi sử dụng phanh, phải thiết kế để tránh quá nhiệt và suy giảm tính năng của phanh và tránh rủi ro cháy.

9.2 Các lỗi lắp ráp

Lỗi có nhiều khả năng phạm phải khi lắp ráp hoặc ráp lại các bộ phận nhất định mà những lỗi này có thể là nguồn gây rủi ro thì phải không thể để xảy ra bằng cách thiết kế các bộ phận này hoặc nếu không, bằng thông tin cung cấp trên bản thân các bộ phận này và/hoặc vỏ bọc của chúng. Thông tin tương tự phải được đưa ra trên các bộ phận chuyển động và/hoặc vỏ bọc của chúng trong trường hợp hướng dịch chuyển phải được biết trước để tránh rủi ro. Bất kỳ thông tin nào khác có thể cần thiết phải được đưa ra trong hướng dẫn vận hành và hướng dẫn bảo trì.

Trong trường hợp một lỗi kết nối có thể là nguồn gây rủi ro, các kết nối không chính xác được thực hiện không thể theo thiết kế hoặc phần này bị sự cố, biện pháp phòng ngừa phải được thực hiện để tránh lỗi kết nối theo thông tin được cung cấp trên các đường ống, ống mềm và/hoặc các khối kết nối.

9.3 Hệ thống thủy lực hoặc khí nén

Khi các bộ phận phụ trợ được chạy bằng năng lượng thủy lực hoặc khí nén, các hệ thống phải được thiết kế, cấu tạo và trang bị sao cho tránh được tất cả các nguy hiểm tiềm ẩn liên quan đến các loại năng lượng này. Các phương tiện cách ly hoặc phóng năng lượng tích lũy phải được đưa vào các hệ thống này. Tất cả các đường ống và/hoặc ống mềm mang dầu thủy lực hoặc khí nén và các phụ kiện kèm theo phải được thiết kế để chịu được hoặc được bảo vệ tránh các ứng suất dự kiến bên trong và bên ngoài. Phải thực hiện các biện pháp phòng ngừa để giảm thiểu rủi ro thương tích do nứt vỡ.

9.4 Hộp số chính

Hộp số chính phải được thiết kế theo ISO 81400-4.

9.5 Hệ thống xoay tuabin

Hệ thống xoay tuabin có thể bao gồm các phương tiện để duy trì hướng xoay tuabin cố định (ví dụ các phanh thủy lực), phương tiện để thay đổi hướng đó (ví dụ động cơ điện, hộp số và các bánh răng) và phương tiện dẫn hướng quay (ví dụ ổ bi).

Tất cả các động cơ phải phù hợp với các phần liên quan của Điều 10.

Các bộ phận cần thiết của hệ thống bánh răng như bánh răng cuối của chuyển động xoay tuabin được xem như thành phần loại 2. Khi nhiều bánh răng xoay tuabin đảm bảo dự phòng đủ trong hệ thống dẫn động xoay tuabin, và có thể thay thế dễ dàng, hộp số giảm tốc và bánh răng cuối dẫn động có thể được xem như thành phần loại 1.

Sự an toàn chống rỗ được xác định theo tiêu chuẩn ISO 6336-2. Cho phép áp dụng đường cong giới hạn trên (1) cho hệ số tuổi thọ Z_{NT} nhằm hạn chế rỗ. Phải chứng tỏ độ bền uốn của răng đủ lớn theo ISO 6336-3. Các tải uốn ngược lại trên các răng của bánh răng phải được xem xét theo Phụ lục B của

ISO 6336-3. Các giá trị tối thiểu cho S_F và S_H được quy định trong Bảng 5. Những giá trị này phải đạt được bằng cách sử dụng các tải đặc trưng F_k . Do đó chúng bao gồm hệ số an toàn từng phần cho các hậu quả γ_n , vật liệu γ_m và tải γ_f .

Bảng 5 – Hệ số an toàn yêu cầu tối thiểu S_H và S_F cho hệ thống bánh răng xoay tuabin

	Thành phần loại 1	Thành phần loại 2
Độ bền bề mặt (rỗ)	$S_H \geq 1,0$	$S_H \geq 1,1$
Khả năng chịu mỏi uốn răng	$S_F \geq 1,1$	$S_F \geq 1,25$
Khả năng chịu uốn tĩnh	$S_F \geq 1,0$	$S_F \geq 1,2$

Các hệ số an toàn thấp hơn có thể áp dụng trong các trường hợp khi thực hiện giám sát hiệu quả. Nếu áp dụng các hệ số an toàn thấp hơn 1,0, thì hướng dẫn bảo trì phải thể hiện khoảng thời gian thay thế dự kiến.

9.6 Hệ thống xoay cánh tuabin

Hệ thống xoay cánh tuabin có thể bao gồm các phương tiện điều chỉnh góc xoay của cánh (ví dụ bộ dẫn động thủy lực, động cơ điện, hộp số, phanh và bánh răng) và phương tiện dẫn hướng quay (ví dụ ổ bi).

Các động cơ bất kỳ phải phù hợp với các phần liên quan của Điều 10. Đối với các hệ thống xoay cánh tuabin có các bộ dẫn động/bộ truyền động xoay cánh tuabin đảm bảo dự phòng đủ lớn, chúng có thể được coi là thuộc thành phần loại 2.

9.7 Phanh cơ khí thực hiện chức năng bảo vệ

Trong trường hợp các phanh cơ khí được sử dụng cho chức năng bảo vệ, nói chung chúng là các thiết bị ma sát tác dụng nhờ áp lực thủy lực hoặc lò xo cơ khí. Tuổi thọ còn lại của các thành phần chịu mài mòn bất kỳ, như các má ma sát, phải được giám sát bằng hệ thống bảo vệ và điều khiển, để giữ tuabin ở chế độ không làm việc khi chưa có đủ điều kiện cho lần dừng khẩn cấp tiếp theo.

Tính toán tải phải được dựa trên các mô phỏng bao gồm một phạm vi thích hợp về mức độ hãm. Nếu phanh có thể trượt khi đang ở trạng thái đứng yên tại mức hãm tối thiểu, thì khi phanh nhằm duy trì tuabin gió ở trạng thái tĩnh, giai đoạn trượt khi có gió luồng xoáy phải đủ ngắn để tránh quá nhiệt và suy giảm tính năng của phanh và để tránh rủi ro cháy.

9.8 Ổ lăn

Cơ sở của việc phân tích thông số đặc trưng ổ lăn là TCVN 8029 (ISO 76) và TCVN 4173 (ISO 281). Đối với các ổ trục, ví dụ như trục chính, hộp số, thì tuổi thọ của các ổ trục này (xác suất tồn tại 90 %) phải ít nhất là 20 năm. Các phương pháp tính toán phải xem xét các điều kiện vận hành. Phải thận trọng khi áp dụng hệ số điều chỉnh bất kỳ (tức là các hệ số a) theo TCVN 4173 (ISO 281).

TCVN 10687-1:2015

Cần đặc biệt thận trọng để đảm bảo các hệ thống làm mát và lọc có thể duy trì các điều kiện vận hành liên quan trong suốt phạm vi nhiệt độ làm việc với các quy trình bảo trì quy định.

Đối với các ổ bi, các tải thiết kế phải phản ánh các tải được xác định theo các trường hợp tải khác nhau trong 7.4 và các hệ số an toàn thích hợp trong 7.6. Thiết kế ổ bi phải xét đến tổng số vòng quay dự kiến trong suốt tuổi thọ của nó và cho dù quay liên tục như các ổ trục chính hay dao động như các ổ bi để xoay tuabin. Hơn nữa, cần xem xét tác động tiềm ẩn của việc bôi trơn không đủ do chuyển động nhỏ.

Đối với ổ bi quay, tỷ số danh định tính cho tải thiết kế phải ít nhất là 1,0 theo TCVN 8029 (ISO 76). Phân bố tải do tính linh hoạt của các bộ phận kết nối phải được xem xét một cách cẩn thận.

10 Hệ thống điện

10.1 Quy định chung

Hệ thống điện của tuabin gió bao gồm tất cả các thiết bị điện được lắp đặt trong từng tuabin gió đến và kể cả các đầu nối tuabin gió; sau đây gọi là "hệ thống điện tuabin gió".

Hệ thống thu gom điện năng không được đề cập trong tiêu chuẩn này.

10.2 Yêu cầu chung đối với hệ thống điện

Thiết kế hệ thống điện phải đảm bảo giảm thiểu các nguy hiểm cho con người và vật nuôi cũng như giảm thiểu các thiệt hại tiềm ẩn cho tuabin gió và hệ thống điện bên ngoài khi vận hành và bảo trì trong các điều kiện bên ngoài bình thường và cực trị quy định tại Điều 6.

Hệ thống điện, bao gồm tất cả thiết bị và thành phần điện, phải phù hợp với các tiêu chuẩn liên quan. Cụ thể, thiết kế hệ thống điện tuabin gió phải phù hợp với các yêu cầu của IEC 60204-1. Đối với các tuabin gió có chứa các mạch điện ở điện áp danh nghĩa lớn hơn 1 000 V xoay chiều hoặc 1 500 V một chiều, thiết kế hệ thống điện tuabin gió phải phù hợp với các yêu cầu của IEC 60204-11. Hệ thống lắp đặt cố định, không phải hệ thống lắp đặt máy móc, phải phù hợp với các yêu cầu của TCVN 7447 (IEC 60364). Nhà chế tạo phải nêu rõ (các) tiêu chuẩn thiết kế được sử dụng. Thiết kế hệ thống điện phải tính đến bản chất biến động của việc phát điện từ các tuabin gió.

10.3 Thiết bị bảo vệ

Ngoài các yêu cầu của TCVN 7447 (IEC 60364), hệ thống điện tuabin gió phải bao gồm các thiết bị phù hợp để đảm bảo bảo vệ tránh hoạt động sai của tuabin gió hoặc của hệ thống điện bên ngoài mà có thể dẫn đến điều kiện hoặc trạng thái không an toàn.

10.4 Thiết bị ngắt kết nối

Phải có thể ngắt kết nối hệ thống điện tuabin gió khỏi tất cả các nguồn năng lượng điện khi được yêu cầu để bảo trì hoặc thử nghiệm.

Các thiết bị bán dẫn không được sử dụng độc lập như các thiết bị ngắt kết nối.

Trong trường hợp các hệ thống chiếu sáng và các hệ thống điện khác cần thiết cho sự an toàn trong quá trình bảo trì, phải có các mạch phụ trợ với các thiết bị ngắt kết nối riêng của chúng, sao cho các mạch này có thể vẫn được cấp năng lượng trong khi tất cả các mạch khác đã mất kết nối.

10.5 Hệ thống nối đất

Thiết kế tuabin gió phải bao gồm một hệ thống điện cực nối đất cục bộ để đáp ứng các yêu cầu của TCVN 7447 (IEC 60364) (đối với việc vận hành chính xác hệ thống lắp đặt điện) và TCVN 9888-3 (IEC 62305-3) (đối với bảo vệ chống sét). Phạm vi của các điều kiện đất mà đối với chúng hệ thống điện cực đất là phù hợp phải được công bố trong tài liệu thiết kế, cùng với các khuyến cáo đối với các điều kiện đất khác.

Lựa chọn và lắp đặt thiết bị bố trí nối đất (điện cực đất, dây dẫn nối đất, đầu nối đất chính và các thanh tiếp đất chính) phải được thực hiện theo TCVN 7447-5-54 (IEC 60364-5-54).

Phải có dự phòng nối đất trong hệ thống điện bất kỳ vận hành ở điện áp trên 1 000 V xoay chiều hoặc 1 500 V một chiều trong quá trình bảo trì.

10.6 Bảo vệ chống sét

Bảo vệ chống sét của tuabin gió phải được thiết kế phù hợp với IEC 62305-3. Không cần thiết phải có các biện pháp bảo vệ cho tất cả các bộ phận của tuabin gió, với điều kiện không ảnh hưởng đến an toàn. Hướng dẫn được đưa ra trong TCVN 10687-24 (IEC 61400-24).

10.7 Cáp điện

Khi có khả năng có động vật gặm nhấm và động vật khác gây tổn hại dây cáp, phải sử dụng các ống dẫn hoặc các cáp có áo giáp. Các cáp ngầm phải được chôn ở độ sâu thích hợp để tránh thiệt hại do các phương tiện giao thông hoặc thiết bị nông nghiệp. Nếu không được bảo vệ bằng các ống dẫn, các cáp ngầm phải được ký hiệu bằng vỏ bọc cáp hoặc băng ghi nhãn phù hợp.

10.8 Tự kích thích

Hệ thống điện bất kỳ mà có thể tự kích thích một tuabin gió phải bị ngắt kết nối và vẫn được ngắt kết nối an toàn trong trường hợp mất điện lưới.

Nếu một dây tự được nối song song với máy phát điện cảm ứng (tức là để bù hệ số công suất), một chuyển mạch phù hợp được yêu cầu để ngắt dây tự bất cứ lúc nào khi mất điện lưới, để tránh tự kích thích máy phát. Một cách khác, nếu trang bị các tụ điện, phải thích hợp để cho thấy rằng các tụ điện không thể là nguyên nhân gây tự kích thích.

10.9 Bảo vệ chống xung sét điện từ

Việc bảo vệ quá áp phải được thiết kế phù hợp với các yêu cầu của TCVN 9888-4 (IEC 62305-4).

TCVN 10687-1:2015

Các giới hạn bảo vệ cũng phải được thiết kế sao cho xung sét điện từ bất kỳ truyền tới thiết bị điện sẽ không vượt quá các giới hạn được quy định bởi các mức cách điện thiết bị.

10.10 Chất lượng điện năng

Các đặc trưng chất lượng điện năng của tuabin gió phải được đánh giá phù hợp với IEC 61400-21.

Các quy trình trong IEC 61400-21 có thể được sử dụng để chứng tỏ sự phù hợp với các yêu cầu của người vận hành mạng phân phối công cộng hoặc mạng truyền dẫn.

10.11 Tương thích điện từ

Phát xạ của các nhiễu dẫn điện được đề cập trong 10.9.

Phát xạ của các nhiễu bức xạ phải đáp ứng các yêu cầu của IEC 61000-6-4.

Miễn nhiệm đối với các nhiễu dẫn điện được đề cập trong 10.6.

Miễn nhiệm đối với các nhiễu bức xạ phải đáp ứng các yêu cầu của IEC 61000-6-1 hoặc IEC 61000-6-2.

Nhà chế tạo tuabin phải nêu rõ áp dụng tiêu chuẩn nào trong hai tiêu chuẩn trên cho thiết kế tuabin gió.

11 Đánh giá tuabin gió đối với các điều kiện vị trí cụ thể

11.1 Quy định chung

Các tuabin gió phải chịu các điều kiện môi trường và điện kể cả các ảnh hưởng của các tuabin gần đó, mà có thể ảnh hưởng đến tải, độ bền và vận hành của chúng. Ngoài các điều kiện này, phải tính đến các điều kiện địa hình, đất đai và địa chấn tại vị trí tuabin gió. Phải chứng tỏ rằng các điều kiện vị trí cụ thể không làm tổn hại đến tính toàn vẹn kết cấu. Việc chứng minh đòi hỏi một đánh giá độ phức tạp của vị trí, xem 11.2 và đánh giá về các điều kiện gió tại chỗ, xem 11.3. Để đánh giá tính toàn vẹn kết cấu, áp dụng hai cách tiếp cận sau:

a) chứng minh rằng tất cả các điều kiện này không khắc nghiệt hơn các điều kiện giả định cho thiết kế tuabin gió, xem 11.9;

b) chứng minh rằng về tính toàn vẹn kết cấu đối với các điều kiện đều bằng hoặc khắc nghiệt hơn các điều kiện tại chỗ, xem 11.10.

Nếu các điều kiện bất kỳ khắc nghiệt hơn các điều kiện giả định trong thiết kế, việc tương thích về kết cấu và về điện phải được chứng minh bằng cách sử dụng cách tiếp cận thứ hai.

Các hệ số an toàn riêng phần đối với các tải trong 7.6.2.1 giả định rằng việc đánh giá tại chỗ cho các điều kiện gió bình thường và cực trị đã được thực hiện theo các yêu cầu tối thiểu trong điều này.

11.2 Đánh giá độ phức tạp địa hình của vị trí

Độ phức tạp của vị trí được đặc trưng bởi độ dốc của địa hình và các thay đổi của địa hình so với mặt

phẳng.

Để thu được độ dốc của địa hình, các mặt phẳng được xác định phù hợp với địa hình trong phạm vi các khoảng cách cụ thể và các độ rộng cung quét cho tất cả các cung quét hướng gió xung quanh tuabin gió và đi qua đế cột tháp. Độ dốc, được sử dụng trong Bảng 4, biểu thị độ dốc của các đường trung bình khác nhau của các cung quét đi qua các đế cột tháp và được nằm trong mặt phẳng thích hợp. Theo đó, sự thay đổi địa hình so với mặt phẳng cố định biểu thị khoảng cách, dọc theo đường thẳng đứng, giữa mặt phẳng thích hợp và địa hình tại các điểm bề mặt.

Bảng 4 – Các chỉ số sự phức tạp địa hình

Phạm vi khoảng cách tính từ tuabin gió	Biên độ cung quét	Độ dốc lớn nhất của mặt phẳng cố định	Thay đổi địa hình tối đa ¹⁵
$< 5 z_{hub}$	360°	$< 10^\circ$	$\leq 0,3 z_{hub}$
$< 10 z_{hub}$	30°		$\leq 0,6 z_{hub}$
$< 20 z_{hub}$	30°		$\leq 1,2 z_{hub}$

Độ phân giải các lưới bề mặt được sử dụng để đánh giá độ phức tạp địa hình không được vượt quá giá trị nhỏ nhất trong hai giá trị $1,5 z_{hub}$ và 100 m.

Vị trí phải được xem là phức tạp nếu 15 % năng lượng trong gió tới từ các cung quét không phù hợp với tiêu chí trong Bảng 4 và được xem là đồng đều, nếu nhỏ hơn 5 % năng lượng trong gió tới từ các cung quét không phù hợp.

Chỉ số độ phức tạp i_c được xác định, sao cho $i_c = 0$ khi nhỏ hơn 5 % năng lượng đến từ các cung quét phức tạp, và $i_c = 1$ khi nhiều hơn 15 % năng lượng đến từ các cung quét phức tạp. Ở khoảng giữa hai giá trị, i_c thay đổi tuyến tính.

11.3 Điều kiện gió cần thiết để đánh giá

Phải đánh giá các giá trị của các tham số sau tại vị trí tuabin gió:

- tốc độ gió trung bình 10 min cực trị ở chiều cao của hub có tần suất xuất hiện là 50 năm;
- hàm mật độ xác suất tốc độ gió $p(V_{hub})$ trong phạm vi từ V_{in} đến V_{out} ;
- độ lệch chuẩn luồng xoáy xung quanh $\hat{\sigma}$ (được ước lượng theo giá trị trung bình độ lệch chuẩn của thành phần chiều dọc¹⁶) và độ lệch chuẩn $\hat{\sigma}_\alpha$ của $\hat{\sigma}$ ở V_{hub} giữa V_{in} và V_{out} và V_{hub} bằng với V_{ref} ;
- độ nghiêng của luồng;

¹⁵ Các tiêu chí kiểm tra được xem là đáp ứng nếu các điều kiện cần thiết không đáp ứng nằm ngoài mặt phẳng nhỏ hơn $5 z_{hub}^2$.

¹⁶ Thành phần theo chiều dọc của luồng xoáy có thể được xấp xỉ theo thành phần chiều ngang.

- trượt gió¹⁷;
- khối lượng riêng của không khí.

Khi không có dữ liệu vị trí về khối lượng riêng của không khí, phải giả thiết rằng khối lượng riêng của không khí phù hợp với ISQ 2533:1975, hiệu chỉnh thích hợp theo nhiệt độ hàng năm.

Khoảng bin tốc độ gió bất kỳ được sử dụng ở trên là 2 m/s hoặc ít hơn, và các cung quét hướng gió phải là 30° hoặc nhỏ hơn. Tất cả các tham số, ngoại trừ khối lượng riêng của không khí, phải có sẵn như các hàm của hướng gió, được cho dưới dạng trung bình 10 min.

Tham số¹⁸ vị trí gió phải

- được đo trong phạm vi $0,2 V_{ref}$ và $0,4 V_{ref}$ rồi ngoại suy, hoặc
- được tính từ các phép đo giám sát được thực hiện tại chỗ, các bản ghi trong thời gian dài từ các trạm khí tượng địa phương hoặc từ các mã hoặc tiêu chuẩn địa phương.

Nếu sử dụng các phép đo, các điều kiện vị trí phải tương quan với dữ liệu trong thời gian dài từ các trạm khí tượng địa phương có sẵn trừ khi chúng có thể cho thấy là ít thay đổi. Giai đoạn giám sát phải đủ dài để thu được tối thiểu sáu tháng dữ liệu đáng tin cậy. Khi các biến động theo mùa góp phần đáng kể vào các điều kiện gió, giai đoạn giám sát phải đủ dài để có chứa các ảnh hưởng này.

Giá trị của độ lệch chuẩn của thành phần hướng dọc phải được xác định bằng cách sử dụng các kỹ thuật thống kê thích hợp áp dụng cho các dữ liệu đo được và khử hướng thích hợp. Khi các tác động của địa hình hay cục bộ khác có thể ảnh hưởng đến cường độ luồng xoáy, các tác động này phải là đại diện trong dữ liệu. Các đặc trưng của máy đo gió, tốc độ lấy mẫu và thời gian trung bình được sử dụng để thu thập dữ liệu đo được phải được xem xét khi đánh giá cường độ luồng xoáy.

11.4 Đánh giá các ảnh hưởng luồng rẽ khí từ các tuabin gió lân cận

Các ảnh hưởng luồng rẽ khí từ các tuabin gió lân cận trong phát điện phải được xem xét. Việc đánh giá sự thích hợp của tuabin gió tại một vị trí trong trang trại gió phải tính đến các đặc trưng dòng luồng xoáy và đặc trưng xác định liên quan đến một hoặc nhiều luồng rẽ khí từ các máy ở hướng đầu gió, bao gồm các ảnh hưởng của khoảng cách giữa các máy, đối với tất cả các tốc độ gió xung quanh và các hướng gió liên quan đến phát điện.

Việc tải tăng lên thường được giả định là kết quả của các ảnh hưởng luồng rẽ khí có thể được tính đến bằng cách sử dụng cường độ luồng xoáy hiệu quả, trong đó bao gồm đại diện đầy đủ các ảnh hưởng

¹⁷ Các giá trị trượt cao đối với các giai đoạn mở rộng thời gian đã được báo cáo cho các diện tích nhất định liên quan đến luồng được phân tầng cao hoặc các thay đổi thô lớn. Các điều kiện bên ngoài trong Điều 6 không được dùng để bao trùm các trường hợp như vậy

¹⁸ Chú ý đến các ăn mòn từ các kết cấu quan trọng trong một khoảng cách từ tuabin gió là 20 lần chiều dài đặc trưng của kết cấu.

trên tải của luồng xoáy xung quanh, ảnh hưởng rời rạc và các ảnh hưởng luồng rẽ khí luồng xoáy.

Đối với các tính toán môi, cường độ luồng xoáy hiệu quả I_{eff} có thể có được theo Phụ lục D.

Nói chung, luồng xoáy hiệu quả đối với các tải gây môi và tải tới hạn khác nhau không thể được giả thiết như nhau.

11.5 Đánh giá các điều kiện môi trường khác

Các điều kiện môi trường dưới đây phải được đánh giá để so sánh với các giả thiết đưa ra trong thiết kế tuabin gió:

- các dải nhiệt độ bình thường và cực trị;
- đóng băng, mưa đá và tuyết;
- độ ẩm;
- sét;
- bức xạ mặt trời;
- hoạt chất hóa học;
- độ mặn.

11.6 Đánh giá các điều kiện địa chấn

Không có các yêu cầu về khả năng chịu động đất đối với các tuabin loại tiêu chuẩn vì các sự kiện như vậy chỉ được thiết kế cho một vài khu vực trên thế giới. Không đòi hỏi các phân tích đánh giá động đất đối với các vị trí đã được loại trừ theo mã địa chấn cục bộ có thể áp dụng do hoạt động địa chấn yếu của chúng. Đối với các địa điểm mà các trường hợp tải địa chấn được mô tả dưới đây là quan trọng, tính toán vận kỹ thuật phải được minh chứng cho các điều kiện vị trí tuabin gió. Việc đánh giá có thể dựa trên Phụ lục C. Đánh giá tải phải tính đến sự kết hợp tải địa chấn với các tải vận hành xuất hiện thường xuyên đủ lớn khác.

Tải địa chấn phải phụ thuộc vào các yêu cầu gia tốc mặt đất và phổ đáp ứng như quy định trong các mã địa phương. Nếu mã địa phương không có sẵn hoặc không cung cấp phổ đáp ứng và gia tốc mặt đất, phải thực hiện đánh giá thích hợp các tham số này.

Gia tốc mặt đất phải được đánh giá trong tần suất xuất hiện là 475 năm.

Tải địa chấn phải được xếp chồng với tải vận hành và phải tương đương hoặc lớn hơn

- a) các tải trong phát điện bình thường lấy trung bình trong suốt tuổi thọ;
- b) các tải trong quá trình dừng khẩn cấp đối với một tốc độ gió đã chọn để các tải trước khi dừng bằng với giá trị thu được trong a).

Hệ số an toàn từng phần đối với tải của tất cả các thành phần tải phải là 1,0.

Đánh giá tải địa chấn có thể được thực hiện thông qua các phương pháp miền tần số, trong trường

hợp này, các tải vận hành được cộng trực tiếp vào tải địa chấn.

Đánh giá tải địa chấn có thể được thực hiện thông qua phương pháp miền thời gian, trong trường hợp này, các mô phỏng đủ lớn được thực hiện để đảm bảo các tải vận hành đại diện cho các giá trị được lấy trung bình theo thời gian nêu trên.

Số lượng các phương thức rung tự nhiên của cột tháp được sử dụng trong các đánh giá nêu trên phải được lựa chọn phù hợp với mã địa chấn đã công nhận. Trong trường hợp không có mã này, phải sử dụng các phương thức liên tục có tổng khối lượng của phương thức bằng 85 % khối lượng tổng.

Việc đánh giá khả năng chịu đựng của kết cấu có thể chỉ giả định đáp ứng đàn hồi, hoặc tiêu tán năng lượng uốn. Tuy nhiên, quan trọng là tiêu tán năng lượng uốn được đánh giá một cách chính xác cho các loại kết cấu cụ thể được sử dụng, đặc biệt đối với các kết cấu thanh giằng và các mối ghép bắt bu lông.

Một cách tiếp cận bảo toàn để tính toán và kết hợp các tải trên cột tháp được quy định tại Phụ lục C. Quy trình này không được sử dụng nếu hoạt động địa chấn là nguyên nhân gây ra tải đáng kể lên kết cấu không phải là cột tháp.

11.7 Đánh giá các điều kiện điện lưới

Các điều kiện điện bên ngoài tại các đầu nối tuabin gió ở vị trí dự kiến phải được đánh giá để đảm bảo tương thích với các điều kiện thiết kế điện. Các điều kiện điện bên ngoài phải bao gồm như sau¹⁹:

- điện áp bình thường và dải điện áp bao gồm các yêu cầu để vẫn ở vị trí kết nối hoặc ngắt kết nối trong phạm vi điện áp và khoảng thời gian được quy định;
- tần số bình thường, dải tần số và tốc độ thay đổi, bao gồm các yêu cầu để vẫn ở vị trí kết nối hoặc ngắt kết nối trong phạm vi tần số và khoảng thời gian được quy định;
- không cân bằng điện áp được quy định như phần trăm điện áp thứ tự ngược đối với các sự cố đối xứng và không đối xứng;
- phương pháp nối đất trung tính;
- phương pháp phát hiện/bảo vệ sự cố nối đất;
- số lần mất điện lưới hàng năm;
- các chu kỳ tự động đóng lại;
- quy trình bù công suất phản kháng yêu cầu;

¹⁹ Nhà thiết kế tuabin có thể cần tính đến các điều kiện tương thích lưới điện. Điều kiện trên đại diện cho một tập hợp các yêu cầu tối thiểu. Các yêu cầu tương thích lưới điện địa phương hoặc quốc gia cần phải được dự báo ở giai đoạn thiết kế.

- dòng điện và khoảng thời gian sự cố;
- trở kháng ngắn mạch pha-pha và pha-đất tại các đầu nối tuabin gió;
- biến dạng sóng hài điện áp nền của điện lưới;
- có đường điện mang tín hiệu, nếu có, và cùng tần số;
- các biên dạng gió sự cố đối với các yêu cầu về khả năng dự phòng;
- yêu cầu kiểm soát hệ số công suất;
- yêu cầu tốc độ biến đổi; và
- yêu cầu tương thích lưới khác.

11.8 Đánh giá các điều kiện đất

Các thuộc tính đất tại vị trí dự kiến phải được đánh giá bởi một kỹ sư địa chất có trình độ chuyên môn, có tham khảo các mã xây dựng sẵn có ở địa phương.

11.9 Đánh giá tính toàn vẹn kết cấu bằng cách tham khảo dữ liệu gió

Có thể hoàn thành đánh giá tính toàn vẹn kết cấu bằng cách so sánh các giá trị tham số gió của vị trí với tham số như thế được sử dụng trong thiết kế. Một tuabin gió là thích hợp đối với một vị trí khi đáp ứng các điều kiện sau:

- ước tính tại chỗ của tốc độ gió lấy trung bình trong 10 min cực trị tại chiều cao của hub có tần suất xuất hiện là 50 năm phải nhỏ hơn V_{ref}^{20} ;
- giá trị vị trí của hàm mật độ xác suất của V_{hub} phải nhỏ hơn hàm mật độ xác suất thiết kế (xem 6.3.1.1) tại tất cả các giá trị của V_{hub} nằm trong khoảng từ $0,2 V_{ref}$ đến $0,4 V_{ref}$;
- giá trị đại diện của độ lệch chuẩn luồng xoáy, σ_1 , (xem công thức (11)) phải lớn hơn hoặc bằng giá trị vị trí của điểm phân vị 90 % được ước lượng của độ lệch chuẩn luồng xoáy tại tất cả các giá trị V_{hub} nằm trong khoảng từ $0,2 V_{ref}$ đến $0,4 V_{ref}$, nghĩa là

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

²⁰ Một cách khác, trung tâm vị trí tuabin gió ước tính tốc độ gió trung bình 3 s cực trị tại chiều cao của hub có tần suất xuất hiện là 50 năm phải nhỏ hơn V_{e50} .

Khi địa hình phức tạp, ước tính độ lệch chuẩn của thành phần dọc luồng xoáy phải được tăng để tính đến độ biến dạng của dòng luồng xoáy²¹. Độ nghiêng luồng xoáy tại vị trí, được lấy là giá trị lớn nhất của tất cả các hướng, phải nhỏ hơn giá trị quy định tại 6.3. Khi không có dữ liệu hoặc các tính toán vị trí cho độ nghiêng luồng và địa hình phức tạp, phải giả định rằng luồng luôn song song với mặt phẳng lắp đặt, xem 11.2, trong phạm vi $5 z_{hub}$ tính từ tuabin gió.

Số mũ trượt gió thẳng đứng lấy trung bình theo vị trí, α , đối với hướng gió phải nhỏ hơn giá trị quy định tại 6.3.1.2 và lớn hơn 'không'. Trường hợp không có dữ liệu vị trí cho trượt gió, số mũ phải được tính toán có xét đến địa hình và độ gồ ghề.

Khối lượng riêng của không khí trung bình tại vị trí phải nhỏ hơn giá trị quy định tại 6.4.1 đối với các tốc độ gió lớn hơn hoặc bằng V_r .

Đánh giá đầy đủ các ảnh hưởng luồng rẽ khí²² có thể được thực hiện bằng cách kiểm tra xác nhận rằng độ lệch chuẩn luồng xoáy σ_1 so với mô hình luồng xoáy bình thường lớn hơn hoặc bằng điểm phân vị ước lượng 90 % độ lệch chuẩn luồng xoáy (bao gồm cả luồng xoáy xung quanh và luồng rẽ khí) nằm trong khoảng từ $0,2 V_{ref}$ đến $0,4 V_{ref}$ (hoặc khi đã biết các thuộc tính tuabin giữa $0,6 V_r$ và V_{out}), tức là:

$$\sigma_1 \geq I_{eff} \cdot V_{hub} \quad (35)$$

Chỉ dẫn để tính toán I_{eff} có thể được tìm thấy trong Phụ lục D.

Hơn nữa, phải chứng minh rằng cắt theo chiều ngang cụ thể tại vị trí do các luồng rẽ khí từng phần không vượt quá EWS trong 6.3.2.6 và rằng luồng xoáy cực trị cụ thể tại vị trí²³, bao gồm các ảnh hưởng luồng rẽ khí, không vượt quá mô hình ETM trong 6.3.2.3. Để xác định luồng xoáy cụ thể tại vị trí, phải tính đến các điều kiện cụ thể tại vị trí, tần số của các tình huống luồng rẽ khí và bố trí trang trại gió.

11.10 Đánh giá tính toàn vẹn kết cấu bằng tính toán tải xét đến các điều kiện vị trí cụ thể

Việc chứng minh phải bao gồm so sánh các tải và các độ lệch được tính toán đối với các điều kiện vị

²¹ Ảnh hưởng địa hình phức tạp có thể được tính đến bằng cách nhân thêm với tham số hiệu chỉnh kết cấu luồng xoáy C_{CT} được xác định theo

$$C_{CT} = \frac{\sqrt{1 + (\partial_2/\partial_1)^2 + (\partial_3/\partial_1)^2}}{1,375}$$

Trong đó các tỷ số độ lệch chuẩn ước lượng ∂_i , tương ứng với các giá trị chiều cao của hub. Khi không có dữ liệu vị trí cho các thành phần luồng xoáy và địa hình phức tạp, kết quả của mô hình hoặc $C_{CT} = 1 + 0,15 i_c$ trong đó i_c là chỉ số phức tạp được xác định trong 11.2, có thể được sử dụng.

²² Cách tiếp cận này cũng có thể được sử dụng để đánh giá thay đổi luồng xoáy trong cung quét, một mình hoặc kết hợp luồng xoáy luồng rẽ khí. Độ lệch chuẩn σ_σ của σ có thể được xác định là giá trị trung bình trong cung quét.

²³ Luồng xoáy cực trị vị trí cụ thể có thể được đại diện bởi luồng xoáy luồng rẽ khí trung tâm lớn nhất theo hướng nghiêng trọng nhất.

trí tuabin gió cụ thể với các giá trị tính được trong thiết kế, có tính đến các giới hạn dự phòng và ảnh hưởng của môi trường độ bền của kết cấu. Các tính toán phải tính đến các biến động điều kiện gió với hướng gió và tốc độ gió trung bình, các hiệu ứng luồng rẽ khí, v.v...

Khi không có dữ liệu vị trí cho các thành phần luồng xoáy và địa hình phức tạp, phải giả định rằng độ lệch chuẩn luồng xoáy hai bên và hướng lên tương đối so với thành phần hướng dọc bằng 1,0 và 0,7, tương ứng.

Trong trường hợp các hiệu ứng luồng rẽ khí, phải kiểm tra xác nhận rằng tính toán vệt kết cấu không bị ảnh hưởng đối với các trạng thái giới hạn môi và tới hạn. Đối với giới hạn môi trong DLC 1.2 σ_1 trong luồng xoáy bình thường, mô hình được thay bằng một mô hình luồng xoáy luồng rẽ khí thích hợp, ví dụ I_{eff} trong Phụ lục D.

Đối với các phân tích trạng thái giới hạn biên, DLC 1.1 hoặc DLC 1.3, cũng như DLC 1.5, phải được áp dụng với các điều kiện cụ thể tại vị trí bao gồm các hiệu ứng luồng rẽ khí thể hiện bằng các mô hình thích hợp. NTM đối với các tải ULS có thể được thiết lập cho luồng xoáy xung quanh đặc trưng phía trong các trang trại gió lớn được xác định theo Phụ lục D, công thức (D.4).

Vì các tính toán tải môi, I_{eff} như được xác định trong Phụ lục D, phụ thuộc vào đường cong Wöhler bậc m của vật liệu thành phần xem xét, nên các tải trên các thành phần kết cấu có các thuộc tính vật liệu khác phải được tính toán lại hoặc được đánh giá với giá trị thích hợp của m.

12 Lắp ráp, lắp đặt và lắp dựng

12.1 Quy định chung

Nhà chế tạo tuabin gió phải có hướng dẫn lắp đặt, mô tả rõ ràng các yêu cầu lắp đặt cho kết cấu và thiết bị của tuabin gió. Việc lắp đặt tuabin gió phải được thực hiện bởi các nhân viên được đào tạo hoặc hướng dẫn về các hoạt động này.

Vị trí tuabin gió phải được chuẩn bị, duy trì, vận hành và quản lý để công việc có thể được thực hiện một cách an toàn và hiệu quả. Điều này bao gồm các quy trình để ngăn chặn xâm nhập trái phép ở nơi có thể. Người vận hành phải xác định và loại bỏ các nguy hiểm tồn tại và tiềm ẩn.

Phải chuẩn bị danh sách kiểm tra các hoạt động dự kiến và phải lưu giữ các bản ghi công việc và kết quả công việc đã hoàn thành.

Khi cần thiết, nhân viên lắp đặt phải sử dụng thiết bị bảo vệ mắt, chân, thính giác và đầu. Tất cả nhân viên leo cột tháp, hoặc làm việc trên mặt đất hoặc mặt nước, phải được đào tạo cho công việc như vậy và phải sử dụng các đai an toàn, hỗ trợ leo an toàn hoặc các thiết bị an toàn khác. Khi cần thiết, một phương tiện hỗ trợ nổi trên mặt nước phải được sử dụng.

Tất cả các thiết bị phải được giữ trong tình trạng tốt và phù hợp với nhiệm vụ được dự định. Các cần cẩu, cần trục và thiết bị nâng hạ, bao gồm tất cả cáp treo, móc và các dụng cụ khác, phải thích hợp cho việc nâng hạ an toàn.

TCVN 10687-1:2015

Cần xem xét cụ thể hệ thống lắp đặt các tuabin gió trong các điều kiện bất thường, ví dụ như mưa đá, sét, gió lớn, động đất, đóng băng, v.v...

Trong trường hợp cột tháp đứng mà không có vỏ tuabin, các biện pháp thích hợp phải được thực hiện để tránh tốc độ gió tới hạn của luồng xoáy tạo ra các dao động ngang. Các tốc độ gió tới hạn và các biện pháp đề phòng phải được nêu trong hướng dẫn lắp đặt.

12.2 Lập kế hoạch

Việc lắp ráp, lắp dựng và lắp đặt các tuabin gió và thiết bị liên quan phải được lập kế hoạch theo thứ tự công việc được thực hiện một cách an toàn và phù hợp với các quy định của địa phương và quốc gia. Ngoài các quy trình đảm bảo chất lượng, khi thích hợp, việc lập kế hoạch phải bao gồm xem xét những điều sau đây:

- các quy tắc để thực hiện an toàn công việc đào đất;
- các bản vẽ và thông số kỹ thuật chi tiết của công việc và kế hoạch kiểm tra;
- các quy tắc để xử lý đúng đắn các công trình ngầm, như các nền móng, bu lông, neo và cốt thép;
- các quy tắc cho thành phần bê tông, giao hàng, lấy mẫu, đổ, hoàn thiện và định vị ống dẫn;
- các quy tắc an toàn nổi;
- các quy trình lắp đặt cột tháp và các dây neo.

12.3 Các điều kiện lắp đặt

Trong khi lắp đặt tuabin gió, vị trí phải được duy trì trong tình trạng sao cho không có rủi ro về an toàn.

12.4 Tiếp cận vị trí

Tiếp cận vị trí phải an toàn và phải tính đến các yếu tố sau:

- các hàng rào và các tuyến đường đi lại;
- giao thông;
- mặt đường;
- chiều rộng đường bộ;
- khoảng cách an toàn;
- khả năng chịu tải trọng;
- chuyển động của thiết bị tại vị trí.

12.5 Các điều kiện môi trường

Khi lắp đặt, phải tuân thủ các giới hạn môi trường do nhà chế tạo quy định. Cần xem xét các hạng mục:

- tốc độ gió;
- tuyết và đóng băng;
- nhiệt độ môi trường;
- bão cát;
- sét;
- tầm nhìn;
- mưa.

12.6 Tài liệu

Nhà chế tạo tuabin gió phải cung cấp các bản vẽ, thông số kỹ thuật và hướng dẫn cho các quy trình lắp ráp, lắp đặt và lắp dựng tuabin gió. Nhà chế tạo phải cung cấp các chi tiết về tất cả các tải, trọng lượng, các điểm nâng và các công cụ đặc biệt và các quy trình cần thiết cho việc xử lý và lắp đặt tuabin gió.

12.7 Tiếp nhận, tháo dỡ và cất giữ

Tháo dỡ và vận chuyển thiết bị máy phát điện tuabin gió trong khi lắp đặt phải được thực hiện với thiết bị đã được xác nhận là phù hợp với nhiệm vụ và tuân thủ thông lệ đề xuất của nhà chế tạo.

Các tuabin gió thường được bố trí trên địa hình đồi núi. Do đó, thiết bị nặng phải được đặt xuống theo cách để không thể trượt. Một khu vực bằng phẳng có kích thước phù hợp được ưu tiên cho tất cả các thao tác tháo dỡ và lắp ráp. Khi không có một khu vực như vậy, tất cả các thiết bị nặng phải được chặn chắc chắn ở một vị trí ổn định.

Khi có nguy cơ bị dịch chuyển do gió với rủi ro gây hỏng, các cánh, vỏ tuabin, các bộ phận khí động học khác và bộ phận dễ bị lật phải được giữ chắc chắn bằng dây thừng và các chốt, hoặc các cọc neo vào đất.

12.8 Hệ thống neo/nền móng

Khi nhà chế tạo có quy định liên quan đến lắp đặt hoặc lắp ráp an toàn, phải sử dụng các dụng cụ đặc biệt, đồ gá lắp, các cơ cấu cố định và các dụng cụ khác.

12.9 Lắp ráp tuabin gió

Tuabin gió phải được lắp ráp theo hướng dẫn của nhà chế tạo. Phải thực hiện kiểm tra để xác nhận bôi trơn đúng và ổn định trước khi vận hành của tất cả các thành phần.

12.10 Lắp dựng tuabin gió

Tuabin gió phải được lắp dựng bởi các nhân viên được đào tạo và huấn luyện trong thực hành lắp dựng thích hợp và an toàn.

TCVN 10687-1:2015

Không có bộ phận nào của hệ thống điện tuabin gió được cấp năng lượng trừ khi cần thiết cho quá trình lắp dựng. Trong trường hợp này, việc thực hiện cấp điện cho thiết bị như vậy theo quy trình đã cho ở dạng văn bản do nhà cung cấp tuabin gió cung cấp.

Tất cả các phần tử khi chuyển động (xoay hoặc dịch chuyển) có thể dẫn đến nguy hiểm tiềm ẩn phải được giữ chắc chắn tránh chuyển động không chủ ý trong suốt quá trình lắp dựng.

12.11 Chốt và các cấu kiện liên kết

Các chốt có ren và các thiết bị liên kết khác phải được lắp đặt theo mômen xoắn và/hoặc các chỉ dẫn khác do nhà chế tạo tuabin gió khuyến cáo. Các chốt được xác định là quan trọng phải được kiểm tra và các quy trình xác nhận mômen xoắn lắp đặt và các yêu cầu khác phải được thu nhận và sử dụng.

Đặc biệt, thực hiện kiểm tra để xác nhận như sau:

- kết nối và lắp ráp thích hợp của các dây chằng, dây cáp, các vít tăng đơ, các cọc lắp ráp và các dụng cụ và máy móc khác;
- cấu kiện liên kết thích hợp của các thiết bị nâng hạ yêu cầu để lắp dựng an toàn.

12.12 Cần cẩu, cần trục và thiết bị nâng hạ

Cần cẩu, cần trục và thiết bị nâng hạ, bao gồm tất cả các cáp nâng tải, các móc và dụng cụ khác yêu cầu để lắp dựng an toàn, phải đầy đủ để nâng an toàn và định vị cuối cùng các tải. Hướng dẫn và tài liệu của nhà chế tạo liên quan đến lắp dựng và tháo dỡ phải cung cấp thông tin về các tải dự kiến và các điểm nâng an toàn cho các thành phần và/hoặc các bộ phận. Tất cả các thiết bị cẩu, dây treo và móc phải được thử nghiệm và chứng nhận an toàn cho tải.

13 Vận hành thử, vận hành và bảo trì

13.1 Quy định chung

Các quy trình vận hành thử, vận hành, kiểm tra, và bảo trì phải được quy định trong tài liệu hướng dẫn của tuabin gió có xem xét thích hợp về an toàn của nhân viên.

Thiết kế phải kết hợp các quy định về tiếp cận an toàn để kiểm tra và bảo trì tất cả các thành phần.

Các yêu cầu của Điều 10 cũng đề cập đến thiết bị đo điện được lắp đặt tạm thời trong tuabin gió với mục đích đo lường.

Khi cần thiết, nhân viên vận hành và bảo trì phải sử dụng thiết bị bảo vệ mắt, chân, thính giác và đầu. Tất cả các nhân viên leo cột tháp, hoặc làm việc trên mặt đất hoặc mặt nước, phải được đào tạo về công việc này và phải sử dụng đai an toàn, phương tiện hỗ trợ leo an toàn hoặc các thiết bị an toàn khác. Khi cần thiết, một phương tiện hỗ trợ nổi trên mặt nước được sử dụng.

13.2 Yêu cầu thiết kế để vận hành, kiểm tra và bảo trì an toàn

Phải có thể vận hành bình thường tuabin gió bởi nhân viên vận hành trên mặt đất. Phải có thao tác bằng tay, cục bộ được ưu tiên hơn so hệ thống điều khiển từ xa/tự động.

Các sự kiện bên ngoài, khi phát hiện như là sự cố nhưng không quan trọng đối với an toàn trong tương lai của tuabin gió, như mất và phục hồi phụ tải điện, có thể cho phép tự động quay về hoạt động bình thường sau khi kết thúc chu trình dừng.

Tấm bảo vệ được thiết kế để bảo vệ nhân viên chống tiếp xúc ngẫu nhiên với các thành phần dịch chuyển phải được cố định, trừ khi thấy trước tiếp cận thường xuyên, thì khi đó các tấm bảo vệ này có thể dịch chuyển.

Tấm bảo vệ phải:

- có cấu trúc vững chắc;
- không dễ đi vòng qua;
- khi có thể, cho phép thực hiện bảo trì thiết yếu mà không cần tháo dỡ.

Các quy định phải được thực hiện khi thiết kế để sử dụng thiết bị chẩn đoán tìm sự cố.

Để đảm bảo an toàn cho nhân viên kiểm tra và bảo trì, thiết kế phải có

- các tuyến tiếp cận và vị trí làm việc an toàn cho việc kiểm tra và bảo trì định kỳ;
- đầy đủ phương tiện để bảo vệ nhân viên tránh tiếp xúc ngẫu nhiên với các thành phần quay hoặc bộ phận chuyển động;
- dự phòng cho các dây cáp bảo hiểm kẹp chặt và các đai lưng an toàn hoặc các thiết bị bảo vệ khác đã được phê duyệt khi leo hoặc làm việc trên cao so với mặt đất;
- các quy định để khống chế vòng quay của rôto và cơ chế xoay tuabin hoặc chuyển động cơ học khác như xoay cánh, trong khi làm việc theo các điều kiện gió và các tình huống thiết kế được quy định tại DLC 8.1, cũng như quy định để giải trừ khống chế an toàn;
- các tín hiệu cảnh báo cho các dây dẫn đang mang điện;
- các thiết bị thích hợp để phóng điện tích lũy;
- bảo vệ phòng cháy thích hợp cho nhân viên
- một đường thoát dự phòng khỏi vỏ tuabin.

Quy trình bảo trì đòi hỏi phải có các dự phòng an toàn cho nhân viên đi vào không gian làm việc kín bất kỳ, như hub hoặc phía trong cánh để đảm bảo tình huống nguy hiểm bất kỳ sẽ được các nhân viên dự phòng biết đến để ngay lập tức khởi động các quy trình giải cứu, nếu cần..

13.3 Hướng dẫn liên quan đến vận hành thử

Nhà chế tạo phải cung cấp các hướng dẫn để vận hành thử.

13.3.1 Cấp điện

Hướng dẫn của nhà chế tạo phải có quy trình bắt đầu cấp điện hệ thống điện tuabin gió.

13.3.2 Thử nghiệm vận hành thử

Hướng dẫn của nhà chế tạo phải có các quy trình thử nghiệm tuabin gió sau khi lắp đặt, để xác nhận vận hành thích hợp, an toàn và đúng chức năng cho tất cả các thiết bị, cơ cấu điều khiển và các thiết bị. Thử nghiệm này phải bao gồm nhưng không giới hạn

- khởi động an toàn;
- dừng an toàn;
- dừng khẩn cấp an toàn;
- dừng an toàn khi quá tốc độ hoặc mô phỏng đại diện của chúng;
- thử nghiệm chức năng hệ thống bảo vệ.

13.3.3 Bản ghi

Hướng dẫn của nhà chế tạo phải có hướng dẫn lưu giữ thích hợp các bản ghi mô tả thử nghiệm, vận hành thử, các tham số điều khiển và các kết quả.

13.3.4 Hoạt động sau vận hành thử

Khi hoàn tất lắp đặt, và hoạt động kéo theo đối với giai đoạn chạy thử do nhà chế tạo khuyến cáo, phải hoàn thành các hoạt động cụ thể mà nhà chế tạo có thể yêu cầu.

Các hoạt động này có thể bao gồm, nhưng không giới hạn, đặt tải trước cho các chốt, thay chất lỏng bôi trơn, kiểm tra các thành phần khác để cài đặt và vận hành thích hợp và điều chỉnh các tham số điều khiển phù hợp.

Vị trí tuabin gió phải được cài tạo để loại bỏ các nguy hiểm và tránh ăn mòn.

13.4 Sổ tay hướng dẫn vận hành

13.4.1 Quy định chung

Sổ tay hướng dẫn vận hành phải được nhà chế tạo tuabin gió cung cấp và được bổ sung thông tin về các điều kiện đặc biệt tại địa phương ở thời điểm vận hành thử khi thích hợp. Sổ tay phải bao gồm, nhưng không giới hạn:

- yêu cầu bất kỳ cho việc vận hành phải được thực hiện bởi nhân viên đã được đào tạo hoặc hướng dẫn thích hợp trong hoạt động này;
- giới hạn vận hành an toàn và mô tả hệ thống;
- quy trình mở và dừng máy;

- danh sách hành động báo động;
- kế hoạch về quy trình khẩn cấp;
- yêu cầu đã quy định mà
 - khi cần thiết, sử dụng các thiết bị bảo vệ mắt, chân, thính giác và đầu,
 - khi cần thiết, tất cả các nhân viên leo cột tháp, hoặc làm việc trên mặt đất hoặc mặt nước, phải được đào tạo về công việc này và phải sử dụng đai an toàn, phương tiện hỗ trợ leo an toàn hoặc các thiết bị an toàn khác,
 - khi cần thiết, phương tiện hỗ trợ nổi trên mặt nước nên được sử dụng,
 - sổ tay phải có sẵn cho người vận hành và bảo trì bằng ngôn ngữ mà người vận hành có thể đọc và hiểu.

13.4.2 Hướng dẫn các hồ sơ vận hành và bảo trì

Sổ tay phải ghi rõ rằng các hồ sơ về vận hành và bảo trì phải được lưu giữ và phải bao gồm những điều sau đây:

- nhận biết tuabin gió;
- năng lượng được sản xuất;
- giờ làm việc;
- giờ dừng;
- ngày và thời gian sự cố được báo cáo;
- ngày và thời gian dịch vụ hoặc sửa chữa;
- bản chất của sự cố hoặc dịch vụ;
- hành động được thực hiện;
- phụ tùng thay thế.

13.4.3 Hướng dẫn tự động dừng đột xuất

Hướng dẫn sẽ yêu cầu rằng tự động dừng đột xuất bất kỳ do sự cố hoặc trục trặc kéo theo, trừ khi có quy định khác trong hướng dẫn hoặc chỉ dẫn vận hành, người vận hành phải điều tra nguyên nhân trước khi khởi động lại tuabin gió. Tất cả quá trình tự động dừng đột xuất phải được ghi lại.

13.4.4 Hướng dẫn đối với độ tin cậy bị giảm

Hướng dẫn đòi hỏi phải thực hiện loại bỏ các nguyên nhân gốc rễ của bất kỳ dấu hiệu hoặc cảnh báo bất thường hoặc độ tin cậy giảm đi.

13.4.5 Kế hoạch các quy trình làm việc

Hướng dẫn yêu cầu tuabin gió phải được vận hành theo các quy trình làm việc an toàn, có tính đến những điều sau đây:

- vận hành các hệ thống điện;
- phối hợp vận hành và bảo trì;
- các quy trình tiện ích cho phép;
- các quy trình leo cột tháp;
- các quy trình xử lý thiết bị;
- hoạt động trong thời tiết xấu;
- các quy trình thông tin liên lạc và các kế hoạch khẩn cấp.

13.4.6 Kế hoạch các quy trình khẩn cấp

Hướng dẫn vận hành phải nêu các tình huống khẩn cấp có thể xảy ra và quy định các hành động cần thiết của nhân viên vận hành trong các tình huống khẩn cấp này.

Hướng dẫn phải yêu cầu khi có hỏa hoạn hoặc biểu hiện rủi ro thiệt hại kết cấu cho tuabin gió hoặc các thành phần của nó, không ai có thể tiếp cận tuabin gió trừ khi rủi ro đã được đánh giá cụ thể.

Trong khi chuẩn bị kế hoạch các quy trình khẩn cấp, phải tính đến rủi ro cho thiệt hại kết cấu có thể bị tăng lên do các tình huống như sau:

- quá tốc độ;
- các điều kiện đóng băng;
- sấm sét;
- động đất;
- đứt hoặc lỏng dây chằng;
- mất phanh;
- mất cân bằng rôto;
- các chốt bị lỏng;
- các lỗi bôi trơn;
- bão cát;
- cháy, lũ lụt;
- các sự cố thành phần khác.

13.5 Hướng dẫn bảo trì

Mỗi mẫu tuabin gió có một hướng dẫn bảo trì, trong đó tối thiểu có các yêu cầu bảo trì và các quy trình khẩn cấp được quy định bởi nhà chế tạo tuabin gió. Hướng dẫn cũng phải cung cấp bảo trì đột xuất.

Hướng dẫn bảo trì phải xác định các bộ phận bị mài mòn và chỉ ra các tiêu chí để thay thế.

Các đối tượng cũng cần được đề cập trong hướng dẫn bao gồm:

- yêu cầu bất kỳ để kiểm tra và bảo trì phải được thực hiện bởi các nhân viên được đào tạo hoặc chỉ dẫn phù hợp với hoạt động này, theo khoảng thời gian được quy định và tuân thủ các chỉ dẫn trong hướng dẫn bảo trì tuabin gió;
- mô tả các hệ thống phụ trợ của tuabin gió và hoạt động của chúng;
- quy trình bôi trơn quy định tần suất bôi trơn và loại dầu bôi trơn hay chất lỏng đặc biệt bất kỳ khác;
- quy trình tái vận hành thử;
- các quy trình và định kỳ kiểm tra bảo trì;
- các quy trình kiểm tra chức năng của các hệ thống bảo vệ;
- sơ đồ kết nối bên trong và đi dây đầy đủ;
- các quy trình kiểm tra cáp dây chằng và căng lại và các quy trình kiểm tra bu lông và gia tải trước, bao gồm các tải lực căng và mô men xoắn;
- các quy trình chẩn đoán và chỉ dẫn xử lý sự cố;
- danh sách các bộ phận dự phòng được đề xuất;
- bộ các bản vẽ lắp ráp và lắp đặt theo vị trí;
- danh sách dụng cụ.

Phụ lục A

(quy định)

Các tham số thiết kế để mô tả tuabin gió cấp S

Đối với các tuabin gió cấp S, thông tin dưới đây phải được đưa ra trong tài liệu thiết kế.

Các tham số máy

Công suất danh định [kW]

Phạm vi tốc độ gió vận hành ở chiều cao của hub $V_{in} - V_{out}$ [m/s]

Tuổi thọ thiết kế [năm]

Các điều kiện gió

Cường độ luồng xoáy như một hàm của tốc độ gió trung bình được sử dụng cho NTM và ETM

Tốc độ gió trung bình hàng năm [m/s]

Luồng nghiêng trung bình [deg]

Phân bố tốc độ gió (Weibull, Rayleigh, đo được, khác)

Các tham số và mô hình biên dạng gió

Các tham số và mô hình luồng xoáy

Các tốc độ gió cực trị ở chiều cao của hub V_{e1} và V_{e50} [m/s]

Các mô hình và tham số gió giật cực trị trong các tần suất xuất hiện 1 năm và 50 năm

Các mô hình và tham số đổi hướng cực trị trong các tần suất xuất hiện 1 năm và 50 năm

Các mô hình và tham số gió giật kết hợp cực trị

Gió giật kết hợp cực trị có các tham số và mô hình đổi hướng

Các tham số và mô hình trượt gió cực trị

Các điều kiện điện lưới

Phạm vi và điện áp cung cấp bình thường [V]

Phạm vi và tần số cung cấp bình thường [Hz]

Điện áp không cân bằng [V]

Khoảng thời gian tối đa mất điện lưới [ngày]

Số lần mất điện lưới [1/năm]

Các chu kỳ tự động đóng lại (bản mô tả)

Phản ứng khi các sự cố bên ngoài đối xứng và không đối xứng (mô tả)

Các điều kiện môi trường khác (trong trường hợp có tính đến)

Các điều kiện thiết kế trong trường hợp tuabin gió ngoài khơi (độ sâu của nước, điều kiện sóng, vv)

Các phạm vi nhiệt độ bình thường và cực trị [°C]

Độ ẩm tương đối của không khí [%]

Khối lượng riêng của không khí [kg/m³]

Bức xạ năng lượng mặt trời [W/m²]

Mưa, mưa đá, tuyết, đóng băng

Các chất hoạt hóa

Các hạt hoạt cơ

Mô tả hệ thống chống sét

Các tham số và mô hình động đất

Độ mặn [g/m³]

Phụ lục B

(tham khảo)

Các mô hình luồng xoáy

Hai mô hình luồng xoáy được đưa ra ở đây cho các tính toán tải thiết kế. Các biến động vận tốc luồng xoáy được giả định là một trường vector ngẫu nhiên, ổn định mà các thành phần có các số liệu thống kê Gaussian trung bình zero. Mô hình đầu tiên được đề xuất.

- 1) Mô hình trượt đồng nhất Mann, và
- 2) Mô hình gắn kết hàm mũ và phổ Kaimal.

Các tham số cho các mô hình đã được lựa chọn để đáp ứng các yêu cầu luồng xoáy chung đã được đưa ra trong 6.3.

B.1 Mô hình luồng xoáy trượt đồng nhất Mann (1994)

Mô tả mô hình này khác đôi chút so với các mô hình trước về sức căng phổ vận tốc ba chiều đã được xác định. Mô hình này giả định rằng phổ năng lượng đẳng hướng von Karman (1948) bị biến dạng nhanh chóng theo một độ trượt vận tốc trung bình, đồng nhất. Kết quả là các thành phần sức căng phổ được cho bởi

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

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

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

$$\Phi_{12}(k_1, k_2, k_3) = \frac{E(k_0)}{4\pi k_0^4} (-k_1k_2 - k_1(k_3 + \beta(k)k_1)\zeta_2 - k_2(k_3 + \beta(k)k_1)\zeta_1 + (k_1^2 + k_2^2)\zeta_1\zeta_2) \quad (\text{B.4})$$

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

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

Trong đó:

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

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

= sức căng tương quan không thứ nguyên,

u_1, u_2, u_3 = các thành phần vận tốc hướng dọc, ngang, hướng lên tương ứng,

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ = các thành phần vector không gian riêng biệt không thứ nguyên,

k_1, k_2, k_3 = số sóng không gian theo ba hướng thành phần không thứ nguyên,

$k = \sqrt{k_1^2 + k_2^2 + k_3^2}$ = độ lớn của vector số sóng không thứ nguyên,

$k_0 = \sqrt{k^2 + 2\beta(k)k_1 k_3 + (\beta(k)k_1)^2}$ = độ lớn trước khi biến dạng trượt,

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

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

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

$E(k) = \frac{1,453k^4}{(1+k^2)^{17/6}}$ = phổ năng lượng đẳng hướng von Karman, không thứ nguyên,

$\beta(k) = \frac{\gamma}{k^3 \sqrt{{}_2F_1\left(\frac{1}{3}, \frac{17}{6}, \frac{4}{3} - k^{-2}\right)}}$ = nhịp biến dạng không thứ nguyên tỷ lệ nghịch với $\sqrt{k^2 \int_k^\infty E(p) dp}$

${}_2F_1$ = Hàm siêu bội

σ_{iso}^2, ℓ = các tham số không trượt phương sai đẳng hướng và tỷ lệ tương ứng, và

γ = tham số biến dạng trượt không thứ nguyên.

Mặc dù mô hình này phức tạp hơn so với mô hình đẳng hướng von Karman, nó chỉ chứa một tham số bổ sung, cụ thể là tham số biến dạng trượt, γ . Khi tham số này bằng không, mô hình đẳng hướng được phục hồi. Khi tham số này tăng lên, các phương sai thành phần vận tốc hướng dọc và ngang tăng trong khi phương sai thành phần vận tốc hướng lên lại giảm. Kết quả là kết cấu luồng xoáy được kéo căng theo hướng dọc và nghiêng so với mặt phẳng 1-2.

Giả sử rằng trường vận tốc ngẫu nhiên được tạo ra bởi mô hình được đối lưu qua tuabin ở tốc độ gió ở hub, phổ thành phần vận tốc được quan sát tại một điểm có thể được tính bằng cách tích phân các thành phần sức căng phổ. Đặc biệt, phổ một chiều không thứ nguyên được đưa ra bởi

$$\frac{f S_i(f)}{\sigma_i^2} = \frac{\sigma_{iso}^2}{\sigma_i^2} \left(\frac{4\pi \ell f}{V_{hub}} \right) \psi_{ii} \left(\frac{2\pi \ell f}{V_{hub}} \right) \quad (B.7)$$

trong đó:

$$\psi_{ij}(k_1) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{ij}(k_1, k_2, k_3) dk_2 dk_3$$

= phổ tự động số sóng đối với i, j không thứ nguyên, hoặc phổ chéo đối với $i \neq j$, và

$$\sigma_i^2 = \sigma_{iso}^2 \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \phi_{ii}(k_1, k_2, k_3) dk_1 dk_2 dk_3$$

= phương sai thành phần.

Tương tự, đối với không gian tách rời bình thường theo hướng dọc, kết hợp được đưa ra bởi

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

Không may là kết quả tích phân không có các dạng giải tích đã biết và phải tính theo phương pháp số cho một giá trị cụ thể của tham số, γ . Mann (1998) đã thực hiện các tích hợp như vậy và so sánh kết quả với mô hình phổ Kaimal. Một bình phương tối thiểu phù hợp với mô hình Kaimal cho tham số cắt

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

Với các liên quan phương sai kết quả

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

Lưu ý phương sai kết quả chiều ngang có giá trị nhỏ hơn chút ít đã được đưa ra trong Bảng B.1. Tham số tỷ lệ có thể được tìm thấy bằng cách cân bằng phổ hướng dọc giới hạn phụ quán tính tiệm cận. Do đó,

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

Tóm lại, ba tham số cần thiết trong mô hình Mann được đưa ra bởi

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

Trong đó σ_1 và Λ_1 được quy định trong 6.3.

Trong các mô phỏng vận tốc luồng xoáy ba chiều, các thành phần vận tốc được xác định từ một triển khai sức căng phổ và một xấp xỉ theo biến đổi Fourier rời rạc. Như vậy, miền không gian ba chiều được chia thành các điểm rời rạc cách đều nhau và vector vận tốc tại mỗi điểm được cho bởi

$$\begin{bmatrix} u_1(x, y, z) \\ u_2(x, y, z) \\ u_3(x, y, z) \end{bmatrix} = \sum_{k_1, k_2, k_3} e^{i \frac{xk_1 + yk_2 + zk_3}{\ell}} \left[C(k_1, k_2, k_3) \right] \begin{bmatrix} n_1(k_1, k_2, k_3) \\ n_2(k_1, k_2, k_3) \\ n_3(k_1, k_2, k_3) \end{bmatrix} \quad (B13)$$

Trong đó:

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

u_1, u_2, u_3 = các thành phần vector phức, có các phần thực và ảo là các thể hiện trường vận tốc luồng xoáy độc lập,

n_1, n_2, n_3 = các giá trị phức ngẫu nhiên Gaussian độc lập với mỗi số sóng khác nhau và có các phần thực và phần ảo cùng đơn vị phương sai,

x, y, z = tọa độ của các điểm lưới không gian,

N_1, N_2, N_3 = số các điểm lưới không gian theo ba hướng, và

Δ = độ phân giải lưới không gian.

Trong biểu thức này, ký hiệu $\sum_{k_1, k_2, k_3}$ có nghĩa là tổng cho tất cả các số sóng không có hướng trong lưới và có thể được thực hiện bằng cách sử dụng các kỹ thuật FFT. Trong các trường hợp khi miền không gian nhỏ hơn 8 ℓ ở kích thước bất kỳ, một điều chỉnh được đề xuất cho việc tìm thừa số sức căng phổ, $[C_{k_1, k_2, k_3}]$. Quy trình này được nêu chi tiết trong Mann (1998).

B.2 Mô hình phổ Kaimal và hàm mũ gắn kết (1972)²⁴

Các mật độ phổ thành phần công suất được đưa dưới dạng không thứ nguyên theo công thức:

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

trong đó

f là tần số, tính bằng Hertz,

k là chỉ số liên quan đến hướng thành phần vận tốc (nghĩa là 1 = chiều dọc, 2 = chiều ngang, và 3 = hướng lên trên);

S_k phổ thành phần vận tốc đơn hướng;

σ_k độ lệch chuẩn thành phần vận tốc (xem công thức (B.2));

L_k tham số tỷ lệ tích phân thành phần vận tốc,

và với

²⁴ Chú ý rằng tỷ số phương sai thành phần luồng xoáy trong Bảng B.1 và dạng công thức đối với thành phần vận tốc hướng lên khác biệt đôi chút so với mô hình phổ Kaimal nguyên gốc. Tỷ lệ theo chiều dọc đã được chọn để xấp xỉ phổ Kaimal nguyên gốc và đối với các tỷ lệ hai bên và hướng lên, đáp ứng các yêu cầu phổ trong 6.3 đối với giới hạn phụ quán tính tiệm cận và tỷ số phương sai được đưa ra trong Bảng B.1.

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

Các tham số phổ luồng xoáy được đưa ra trong Bảng B.1.

Bảng B.1 – Các tham số phổ luồng xoáy cho mô hình Kaimal

	Chỉ số thành phần vận tốc (k)		
	1	2	3
Độ lệch tiêu chuẩn σ_k	σ_1	$0,8 \sigma_1$	$0,5 \sigma_1$
Tỷ lệ tích phân, L_k	$8,1 \Lambda_1$	$2,7 \Lambda_1$	$0,66 \Lambda_1$

Trong đó σ_1 và Λ_1 là các tham số độ lệch chuẩn và tỷ lệ; tương ứng của luồng xoáy như được quy định trong 6.3.

Mô hình gắn kết số mũ sau có thể được sử dụng khi kết hợp với các phổ tự động Kaimal để giải thích cho kết cấu tương quan không gian của thành phần vận tốc theo hướng dọc:

$$\text{Coh}(r, f) = \exp[-12((f \cdot r / V_{\text{hub}})^2 + (0,12 \cdot r / L_c)^2)^{0,5}] \quad (B.16)$$

trong đó:

$\text{Coh}(r, f)$ hàm gắn kết được xác định bởi độ lớn phức của mật độ phổ ngang của các thành phần vận tốc gió theo hướng dọc ở hai điểm riêng biệt trong không gian chia cho hàm phổ tự động;

r độ lớn theo hình chiếu của vector tách rời giữa hai điểm trên một mặt phẳng bình thường theo hướng gió trung bình;

f tần số tính theo Hertz;

$L_c = 8,1 \Lambda_1$ là tham số tỷ lệ gắn kết.

B.3 Tài liệu tham khảo

J.C. Kaimal, J.C. Wyngaard, Y. Izumi, and O.R. Cote, *Spectral characteristics of surface layer turbulence*, Q.J.R. Meteorol. Soc., v. 98, 1972, pp. 563-598. (Đặc trưng phổ của luồng xoáy lớp bề mặt)

T. von Karman, *Progress in the statistical theory of turbulence*, Proc. Nat. Acad. Sci., v. 34, 1948, pp. 530-539. (Tiến bộ trong lý thuyết thống kê luồng xoáy)

J. Mann, *The spatial structure of neutral atmospheric surface-layer turbulence*, J. of FluidMech., v. 273, 1994, pp. 141-168. (Kết cấu không gian của luồng xoáy lớp bề mặt khí quyển trung tính)

J. Mann, *Wind field simulation*, Prob. Engng. Mech., v. 13, n. 4, 1998, pp. 269-282. (Mô phỏng trường gió)

Phụ lục C

(tham khảo)

Đánh giá tải động đất

Phương pháp đơn giản, bảo toàn để tính toán tải động đất được trình bày ở đây để sử dụng khi cần thiết cho một phân tích phức tạp có thể không dễ dàng xác lập.

Việc đơn giản hóa về cơ bản là bỏ qua các chế độ rung cao hơn chế độ uốn của cột tháp ban đầu, và giả thiết rằng toàn bộ kết cấu chịu cùng gia tốc. Việc bỏ qua chế độ thứ hai là một đơn giản hóa không bảo toàn đáng kể và được bù cho trường hợp này bằng cách kết hợp khối lượng cột tháp với khối lượng đầu cột tháp và đặt một tải khí động học bảo toàn.

Phương pháp để xác định gia tốc mặt đất vẫn phải phù hợp với 11.6. Trong trường hợp không có dữ liệu cụ thể tại vị trí, phải thực hiện các giả thiết bảo toàn. Trong phụ lục này sử dụng các thuật ngữ trong ISO 3010.

Quy trình bao gồm các bước sau:

- Đánh giá hoặc ước lượng các điều kiện vị trí và đất yêu cầu bằng tiêu chuẩn địa phương liên quan
- Sử dụng đáp ứng phổ thiết kế chuẩn tắc và hệ số vùng địa chấn nguy hiểm để thiết lập gia tốc tại cột tháp đầu tiên rung, lắc tần số riêng đang giả thiết giảm chấn 1 % giá trị giảm chấn tới hạn.
- Tính tải cho một hệ thống chịu gia tốc ở trên trong đó tổng khối lượng rôto, vỏ tuabin và 50 % khối lượng cột tháp được tập trung ở đầu cột tháp.
- Cộng kết quả vào các tải đặc trưng được tính toán để dùng khẩn cấp tại tốc độ gió danh định.
- So sánh kết quả đối với các tải thiết kế hoặc độ chịu lực thiết kế đối với tuabin gió.

Nếu cột tháp có thể duy trì kết quả tải kết hợp, thì không cần thiết nghiên cứu thêm. Nếu không, thực hiện một nghiên cứu toàn diện theo 11.6.

Phụ lục D

(tham khảo)

Luồng rẽ khí và luồng xoáy trang trại gió

D.1 Hiệu ứng luồng rẽ khí

Các hiệu ứng luồng rẽ khí từ các tuabin gió lân cận có thể được tính đến khi vận hành bình thường để tính toán mỗi theo cường độ luồng xoáy hiệu quả I_{eff} , Frandsen (2007). Cường độ luồng xoáy hiệu quả – được quy định theo tốc độ gió trung bình tại chiều cao của hub – có thể được xác định theo

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

trong đó:

V_{hub} là tốc độ gió tại chiều cao của hub;

p hàm mật độ xác suất của hướng gió;

I là cường độ luồng xoáy của môi trường kết hợp và dòng luồng rẽ khí từ hướng gió θ , và

m số mũ Wöhler (đường cong SN) đối với vật liệu xem xét.

Trong phần tiếp theo, một phân bố đồng đều $p(\theta|V_{hub})$ được giả định. Cũng có thể chấp nhận điều chỉnh công thức để khác với phân bố đồng đều²⁵. Phải giả thiết là tốc độ gió trung bình trong trang trại gió không giảm.

Nếu giá trị nhỏ nhất $\{d_i\} \geq 10 D$ thì:

$$I_{eff} = \frac{\sigma_c}{V_{hub}} \quad (D.2)$$

Nếu giá trị nhỏ nhất $\{d_i\} < 10 D$ thì:

$$I_{eff} = \frac{\sigma_{eff}}{V_{hub}} = \frac{1}{V_{hub}} \left[(1 - Np_w) \sigma_c^m + p_w \sum_{i=1}^N \sigma_T^m(d_i) \right]^{\frac{1}{m}} ; p_w = 0,06 \quad (D.3)$$

trong đó:

²⁵ Trong trường hợp phân bố hướng gió không đồng đều p_w có thể được điều chỉnh theo một hệ số bằng với tỷ số của xác suất hướng gió thực theo hướng của các tuabin lân cận và xác suất kết hợp với phân bố hướng gió đồng nhất.

$\sigma_c = \sigma + 1,28\sigma_\sigma$ là độ lệch chuẩn luồng xoáy xung quanh đặc trưng;

σ là độ lệch chuẩn luồng xoáy xung quanh ước lượng;

σ_σ là độ lệch chuẩn ước lượng của độ lệch chuẩn luồng xoáy xung quanh

$\sigma_T = \sqrt{\frac{V_{hub}^2}{\left(1,5 + \frac{0,8d_i}{\sqrt{C_T}}\right)^2}} + \sigma_c^2$ là giá trị đặc trưng của luồng rẽ khí trung tâm lớn nhất, độ lệch chuẩn luồng xoáy

chiều cao của hub (σ_c phải không được tính đến trạng thái tạo ra luồng xoáy xung quanh);

C_T Giá trị đặc trưng của hệ số áp lực hướng trục tuabin gió đối với vận tốc gió tương ứng ở chiều cao của hub. Nếu hệ số áp lực hướng trục đối với các tuabin gió lân cận chưa được biết, có thể sử dụng một giá trị chung $C_T = 7 c/V_{hub}$;

d_i là khoảng cách thường bằng với đường kính rôto, đến tuabin gió lân cận số i ;

c hằng số bằng 1 m/s;

I_{eff} cường độ luồng xoáy hiệu dụng;

N số tuabin gió lân cận; và

m là số mũ đường cong Wöhler tương ứng với vật liệu của thành phần kết cấu được xét.

Các hiệu ứng luồng rẽ khí từ các tuabin gió "ẩn" đằng sau các máy móc khác cần được xem xét, ví dụ trong một hàng, chỉ các luồng rẽ khí từ hai tuabin gần nhất với tuabin đang xét thì được tính đến. Phụ thuộc vào cấu hình trang trại gió, số lượng các tuabin gió gần nhất được đưa vào trong tính toán I_{eff} được đưa ra trong Bảng D.1.

Các cấu hình trang trại gió được minh họa trong Hình D.1 đối với trường hợp "bên trong một trang trại gió có nhiều hơn 2 hàng".

Bảng D.1 – Số các tuabin gió gần nhất được xét đến

Cấu hình trang trại gió	N
2 tuabin gió	1
1 hàng	2
2 hai hàng	5
Bên trong một trang trại gió có nhiều hơn 2 hàng.	8

Bên trong các trang trại gió lớn, các tuabin gió có xu hướng phát luồng xoáy xung quanh chính chúng. Do vậy, khi

a) số lượng các tuabin gió từ tuabin được xét tới "biên" của các trang trại gió là nhiều hơn 5, hoặc

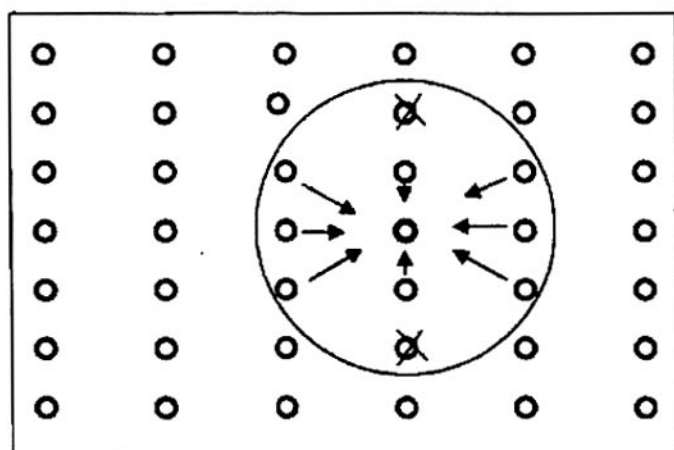
b) khoảng cách giữa các hàng vuông góc với hướng gió chủ yếu là ít hơn 3D, do đó luồng xoáy xung quanh đặc trưng kéo theo phải được ước lượng thay vì σ_c ngoại trừ trong biểu thức cho σ_T :

$$\hat{\sigma}'_T = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\hat{\sigma}_w^2 + \hat{\sigma}^2} + \hat{\sigma} \right) + 1,28\hat{\sigma}_\sigma \quad (D.4)$$

trong đó:

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

Trong đó d_r và d_f là tách biệt với các đường kính rôto trong các hàng và tách biệt giữa các hàng tương ứng.



Hình D.1 – Cấu hình – bên trong một trang trại gió có nhiều hơn 2 hàng

D.2 Tài liệu tham khảo

FRANSEN S. (2007) *Turbulence and turbulence generated loading in wind turbine clusters*, Risø report R-1188. (Luồng xoáy và luồng xoáy tạo ra tải trong các nhóm tuabin gió)

Phụ lục E

(tham khảo)

**Dự báo phân bố gió đối với các vị trí tuabin gió
bằng các phương pháp đo lường so sánh dự báo (MCP)**

Việc đánh giá mức độ phù hợp của một tuabin gió đối với vị trí cụ thể đòi hỏi đánh giá các tham số tốc độ gió tới hạn theo thiết kế tại vị trí đó. Thông thường, không có đủ dữ liệu ngay tại một điểm duy nhất trong một trang trại gió để thực hiện đánh giá. Tuy nhiên, các bản ghi dữ liệu mở rộng có thể được tổng hợp bằng phép ngoại suy dựa trên một hồ sơ dài hạn cho vị trí khác. Các phương pháp MCP là phương tiện để tạo bản ghi mở rộng. Giải thích sau đây được lấy từ "Dự báo tốc độ gió cực trị tại các vị trí năng lượng gió, tập hợp chỉ dẫn chuẩn bị dưới dạng ETSU rút gọn W/11/00427/00" bởi Phòng nghiên cứu công suất gió và khí hậu quốc gia của Đại học East Anglia.

E.1 Đo lường so sánh dự báo (MCP)

Phương pháp MCP lấy một số dạng mà trong đó giai đoạn trung bình và hướng bản chất của các dữ liệu khác nhau. Một phiên bản được mô tả ở đây, dựa trên các dữ liệu hàng giờ đồng thời từ vị trí tuabin gió và một trạm khí tượng chuẩn ở gần (Trạm Met.). Những dữ liệu này có dạng biểu đồ cắt ngang và được sử dụng để dẫn xuất các công thức hồi quy tuyến tính cung quét chọn lọc; các cung quét sẽ phù hợp với những vị trí được sử dụng bởi trạm Met., các cung quét thường là 30°. Các bộ dữ liệu được sử dụng để dẫn xuất các công thức hồi quy phải càng lâu càng tốt, ít nhất là bao gồm hoàn toàn bộ phạm vi bảo toàn của các biến động theo mùa bất kỳ.

E.2 Ứng dụng tốc độ gió trung bình hàng năm và phân bố

Các công thức hồi quy ở trên được áp dụng cho trạm Met. lâu dài ghi sector theo cung quét, trong một thời gian đủ dài để loại bỏ các biến động ngắn hạn, có lẽ ít nhất là 7 năm. Kết quả là một bản ghi trung bình mỗi giờ cho vị trí, mà có thể được gia công trong một phân bố xác suất để đánh giá vị trí.

E.3 Ứng dụng tốc độ gió cực trị

Phương pháp kinh điển để dự báo tốc độ gió cực trị là một phân tích Gumbel được sửa đổi để cải thiện độ chính xác (ví dụ phương pháp ước lượng không chệch tốt nhất Leiblein (BLUE) mô tả trong "Các nhà thiết kế hướng dẫn tải gió của kết cấu tòa nhà", NJ Cook, Butterworths, 1995.). Chiều dài dữ liệu tối thiểu được đề nghị thiết lập là mười năm.

Cũng có thể áp dụng phương pháp các cơn bão độc lập (MIS), một dẫn xuất của phương pháp Gumbel, trong đó sử dụng nhiều hơn một điểm dữ liệu mỗi năm từ một bộ dữ liệu, cũng được mô tả bởi Cook. Phương pháp này có thể được sử dụng cho các bộ dữ liệu mà có thời gian càng ngắn hơn

bảy năm càng tốt. Phương pháp MIS lựa chọn các đỉnh tốc độ gió của các cơn bão riêng bằng cách áp dụng các ngưỡng và các bộ lọc thời gian để đảm bảo rằng tất cả các giá trị là từ các sự kiện độc lập.

Các hệ số hồi quy cung quét cụ thể được áp dụng cho một bảng tốc độ gió tối đa mỗi giờ tại trạm Met. Station, hàng năm đối với Gumbel cơ bản và theo sự kiện bão cho phương pháp MIS, và theo cung quét. Do đó, một bảng tương tự được xây dựng cho vị trí tuabin gió. Giá trị tối đa mỗi năm đối với vị trí đề xuất được tách ra để sử dụng trong phân tích Gumbel.

Việc sử dụng các hệ số thích hợp ở đây do chúng đã được hình thành từ dữ liệu trung bình hàng giờ và đang được áp dụng cho dữ liệu trung bình mỗi giờ. Trong phương pháp này, không có giả thiết rằng giá trị lớn nhất tại vị trí đề xuất xuất hiện trong cùng cung quét là tối đa tại vị trí quy chuẩn. Bằng cách sử dụng các hệ số hồi quy cung quét cụ thể, tối đa tại vị trí đề xuất có thể được xác định chính xác hơn, có tính đến các mối quan hệ bên trong vị trí.

Lựa chọn tần suất xuất hiện liên quan trong phân tích giá trị cực trị phải tính đến số các sự kiện mỗi năm.

Các hệ số gió giật được ước lượng từ dữ liệu đo lường tại chỗ, hoặc bằng các phương pháp lý thuyết.

E.4 Tài liệu tham khảo

N J Cook, *The designers guide to wind loading of building structures*, Butterworths, 1995. (Các nhà thiết kế hướng dẫn tải gió của các kết cấu tòa nhà)

National Wind Power and Climatic Research Unit of the University of East Anglia, *Prediction of extreme wind speed at wind energy sites*, a set of guidelines prepared under ETSU contract W/11/00427/00. (Dự báo tốc độ gió cực trị tại các vị trí năng lượng gió)

R I Harris, *Gumbel re-visited – a new look at extreme value statistics applied to wind speeds*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Volume 59 (1996) pp 1-22. (Tái thăm quan Gumbel – một cái nhìn mới về các thống kê giá trị cực trị áp dụng cho các tốc độ gió)

D C Quanton *Wind Farms in Hostile Terrain, Final Report*, A report prepared under ETSU contract W/43/00501/00/00, July 1999. (Các trang trại gió ở Hostile Terrain, báo cáo sau cùng)

R I Harris, *The accuracy of design values predicted from extreme value analysis*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 89 (2001) pp 153-164. (Độ chính xác của các giá trị thiết kế được dự báo từ phân tích giá trị cực trị)

Phụ lục F

(tham khảo)

Ngoại suy thống kê các tải đối với phân tích sức bền giới hạn

F.1 Quy định chung

Sự cố của một kết cấu xảy ra khi ứng suất tại một vị trí trọng yếu vượt quá khả năng chịu đựng của vật liệu thành phần. Giả thiết rằng các ứng suất cục bộ liên quan đến tải sao cho ứng suất dần dần tăng lên với tải tăng dần, sức bền của thành phần kết cấu có thể được xác định theo một tải giới hạn mà gây ra sự cố. Dựa vào tải làm việc, có thể đánh giá được sự phù hợp của kết cấu bằng cách so sánh các giá trị cực trị của tải với sức bền tải tới hạn, áp dụng các hệ số an toàn phù hợp.

Đối với các tuabin gió, tải phụ thuộc vào dòng gió luồng xoáy đối với sự đa dạng các điều kiện gió. Vì vậy, cần thiết để phân tích các giá trị cực trị của tải trên cơ sở thống kê để xác định tải đặc trưng phù hợp.

Đối với một điều kiện gió nhất định, có thể hợp lý cho mô hình đáp ứng tải ngắn hạn như một quá trình dừng ngẫu nhiên. Cho rằng các tải có thể được biểu diễn theo các quá trình, các phương pháp được mô tả trong những điều sau đây để tách riêng dữ liệu để ngoại suy và ngoại suy tải. Tiêu chuẩn hội tụ cũng được đề xuất và một thay thế cho ước lượng các tải dài hạn khi sử dụng phương pháp nghịch đảo độ tin cậy bậc nhất (IFORM) được đưa ra.

Các phương pháp đã được thử nghiệm cho tuabin hướng gió trục ngang 3 cánh. Chú ý đặc biệt có thể cần thiết cho các khái niệm tuabin gió khác và/hoặc các sơ đồ điều khiển bao gồm phản hồi tải. Thông tin chi tiết và hướng dẫn có thể được tìm thấy trong [1]²⁶.

F.2 Tách riêng dữ liệu cho phép ngoại suy

Dữ liệu được sử dụng trong phương pháp ngoại suy được tách ra từ chuỗi thời gian mô phỏng tuabin trên phạm vi hoạt động của tuabin trong các điều kiện gió quy định. Dữ liệu có thể được tách bằng cách chọn các cực trị đáp ứng riêng trên toàn bộ từ mỗi mô phỏng hoặc một số tập hợp con được tạo ra bằng cách phá vỡ mô phỏng bên trong các khối đẳng thời hoặc đảm bảo thời gian tối thiểu tách biệt giữa các cực trị.

Thiết lập độc lập giữa các cực trị đáp ứng tải riêng là quan trọng đối với một số phương pháp ngoại suy. Khi tách ra, nhà thiết kế phải xem xét các hiệu ứng độc lập giữa các đỉnh trên phép ngoại suy và

²⁶ Các số trong ngoặc vuông tham khảo Điều F.6.

giảm thiểu sự phụ thuộc khi có thể. Nếu phương pháp được lựa chọn cho phép ngoại suy nhạy cảm theo giả thiết độc lập (ví dụ như phương pháp liên quan đến chuyển đổi hàm xác suất giữa các cơ sở thời gian), nhà thiết kế phải cố gắng thống kê thử nghiệm cho độc lập.

Một tiếp cận đơn giản để đảm bảo độc lập là giả thiết rằng giá trị cực trị tổng thể trong mỗi mô phỏng 10 min hoặc các cực trị cục bộ từ các khoảng thời gian không ngắn hơn ba chu kỳ đáp ứng độc lập và do đó đòi hỏi một tách biệt thời gian tối thiểu giữa các cực trị đáp ứng riêng của ba chu kỳ đáp ứng (được xác định bởi ba đường giao nhau trung bình trên kích thước khối). Nếu một tiếp cận thống kê có hệ thống được mong đợi, nhà thiết kế có thể thử nghiệm đối với các kỹ thuật ước lượng tiêu chuẩn sử dụng độc lập (ví dụ: [5], [6]) và sau đó giảm thiểu sự phụ thuộc một cách có kiểm soát.

Các phương pháp đỉnh vượt ngưỡng cũng có thể được áp dụng, nhưng nhà thiết kế phải cẩn thận với các lỗi làm tròn và tương quan được đưa ra bởi ngưỡng không ảnh hưởng đến hình dáng của đột biến phân bố thực nghiệm.

F.3 Các phương pháp ngoại suy tải

F.3.1 Quy định chung

Cách tiếp cận được đề xuất của ngoại suy các sự kiện cực trị để xác định theo tải 50 năm của một tuabin gió có thể được chia ra thành các quy trình sau:

a) Điều chỉnh tham số và tổng hợp sau đó

Chia nhỏ giới hạn làm việc của tuabin theo tốc độ gió rời rạc và tính năng của các mô phỏng miền thời gian tại mức luồng xoáy bình thường (NTM). Ước lượng phân bố giá trị cực trị (tham số) [2] cho mỗi thực hiện tốc độ gió. Tổng hợp tất cả các phân bố theo hàm phân bố dài hạn của tốc độ gió trung bình. Dự báo giá trị 50 năm của hàm phân bố được tổng hợp. Đối với cực trị tổng thể từ các mô phỏng 10 min, xác suất tải 50 năm là $3,8 \times 10^{-7}$.

b) Tổng hợp dữ liệu đầu tiên và điều chỉnh sau đó

Chia nhỏ giới hạn làm việc của tuabin theo tốc độ gió rời rạc và tính năng của các mô phỏng miền thời gian tại mức luồng xoáy bình thường (NTM). Tổng hợp tất cả các cực trị liên quan từ tất cả các chuỗi thời gian theo hàm phân bố dài hạn của tốc độ gió trung bình trong phạm vi làm việc của tuabin. Ước lượng một hàm phân bố (tổng hợp) cho tất cả các cực trị. Dự báo giá trị 50 năm từ hàm phân bố kết quả.

Hai trường hợp khác nhau được lưu ý đối với việc tổng hợp các phân bố ngắn hạn được mô phỏng của các cực trị trong thời gian quan sát cụ thể T bên trong một phân bố thực nghiệm của các cực trị lâu dài cùng kỳ: ngoại suy từ các cực trị tổng thể, và từ các cực trị cục bộ.

F.3.2 Các cực trị tổng thể

Phân bố ngắn hạn của các cực trị tổng thể trong thời gian quan sát T , được biểu diễn

$$F_{\text{short-term}}(s|V; T) \quad (F.1)$$

Trong đó s viết tắt cho đáp ứng tải. Từ công thức này, và bằng cách sử dụng phân bố lâu dài cho tốc độ gió trung bình, phân bố lâu dài của các giá trị cực trị được thu nhận:

$$F_{\text{long-term}}(s; T) = \int_{V_{\text{in}}}^{V_{\text{out}}} F_{\text{short-term}}(s|V; T) f(V) dV \quad (F.2)$$

Đáp ứng tải cực trị, s_r , của thời gian phân hồi mong muốn T_r được thu nhận từ công thức sau

$$F_{\text{long-term}}(s_r; T) = 1 - \frac{1}{N}, \quad N = \frac{T_r}{T} \quad (F.3)$$

Việc thực hiện thực tế của các công thức này sẽ diễn hình để sử dụng các giá trị tốc độ gió rời rạc. Sau đó, có

$$F_{\text{long-term}}(s; T) \approx \sum_{k=1}^M F_{\text{short-term}}(s|V_k; T) p_k, \quad p_k = f(V_k) \Delta V_k, \quad V_{\text{in}} \leq V_1 < \dots < V_M \leq V_{\text{out}} \quad (F.4)$$

Phân bố $F_{\text{short-term}}$ được thu nhận bằng cách điều chỉnh theo phân bố thực nghiệm:

$$F_{\text{short-term}}(S_{ki}|V_k) = \frac{r_i}{n_k + 1}, \quad i = 1, \dots, n_k \quad (F.5)$$

Trong đó s_{ki} ký hiệu mẫu giá trị cực trị thứ i từ tốc độ gió k và r_i là bậc của s_{ki} giữa các cực trị n_k phát sinh từ tốc độ gió k . Đối với các triển khai tiếp theo, cần lưu ý rằng một biểu thức tương đương cho phân bố thực nghiệm bằng cách sử dụng tổng là

$$F_{\text{short-term}}(S_{ki}|V_k) = \sum_{j=1}^{n_k} \frac{1}{n_k + 1} I(S_{kj} + S_{ki}), \quad i = 1, \dots, n_k \quad (F.6)$$

Trong đó hàm chỉ thị $I(x)$ được biểu diễn là:

$$I(x) = \begin{cases} 1 & \text{đối với } x \leq 0 \\ 0 & \text{đối với } x > 0 \end{cases} \quad (F.7)$$

Nhiệm vụ của hàm chỉ thị là để chọn ra tất cả các giá trị nhỏ hơn hoặc bằng s_{ki} để chúng có thể đóng góp vào xác suất thực nghiệm có giá trị nhỏ hơn hoặc bằng s_{ki} . Lưu ý rằng định nghĩa cụ thể của hàm chỉ thị đảm bảo rằng trường hợp các giá trị cực trị nhận biết phải thực sự được ghi nhận.

F.3.3 Các cực trị cục bộ

Bây giờ việc phân bố cực trị tổng thể ngắn hạn trong thời gian quan sát T , được thu nhận từ $n(V)$ các giá trị cực trị cục bộ riêng trong giai đoạn đó (giả thiết các cực trị là dương, nếu không có thể thực hiện thay đổi dấu hiệu):

$$F_{\text{short-term}}(s|V; T) = F_{\text{local}}(s|V; T)^{n(V)} \quad (\text{F.8})$$

Phân bố lâu dài, được quy định trong (F.9), và đáp ứng tải cực trị, s_r , của giai đoạn hồi tiếp mong muốn, T_r , được thiết lập như đã mô tả trong điều phụ trước. Đúng ra, n phải là một số ngẫu nhiên đối với mỗi phân bố phải được giả định (phụ thuộc vào V). Tuy nhiên, đối với các ứng dụng tuabin gió, n hạn chế biến động so với giá trị trung bình của nó. Do đó, thay thế n theo giá trị trung bình của nó (điều kiện về V), như ngầm thực hiện ở trên, là tương đối chính xác. Xấp xỉ có thể được chấp nhận nếu, khi áp dụng công thức được đề xuất ở sau đây, mỗi lần sử dụng một đại diện giá trị s của tốc độ gió mà đóng góp nhiều nhất vào đáp ứng tải cụ thể đang xem xét. Dựa trên một xấp xỉ có các biểu thức sau:

$$F_{\text{long-term}}(s; T) = \int_{V_{\text{in}}}^{V_{\text{out}}} F_{\text{local}}(s|V; T)^n f(V) dV \quad (\text{F.9})$$

$$F_{\text{long-term}}(s_r; T) = 1 - \frac{1}{N}, \quad N = \frac{T_r}{T} \quad (\text{F.10})$$

F.3.4 Các phân bố thực nghiệm lâu dài

Ưu điểm để tổng hợp số liệu từ tất cả các tốc độ gió và sau đó điều chỉnh phân bố cho dữ liệu kết hợp. Một phương pháp để thực hiện điều này là tính toán số mô phỏng, trong đó số các mô phỏng mỗi ngăn được xác định bởi phân bố Weibull (hoặc phù hợp) của tốc độ gió.

$$N_{\text{sims}}(V_k) \approx N_{\text{total}} p_k, \quad p_k = f(V_k) \Delta V_k, \quad V_{\text{in}} \leq V_1 < \dots < V_M \leq V_{\text{out}} \quad (\text{F.11})$$

Sau khi mô phỏng hoàn thành và cực đại được lấy ra, tất cả các cực đại từ tất cả các tốc độ gió được kết hợp thành một phân bố duy nhất và phân bậc như

$$F_{\text{long-term}}(S_i) = \frac{r_i}{n_k + 1}, \quad i = 1, \dots, n_{\text{total}} \quad (\text{F.12})$$

Trong đó s_i ký hiệu là giá trị cực trị thứ i lấy mẫu trên tất cả các tốc độ gió và r_i là bậc của s_i trong n_{total} các cực trị phát sinh từ phân bố kết hợp.

Một bất lợi tiềm ẩn của phương pháp này là các tải bị khống chế bởi các tốc độ gió cao có thể có rất ít mô phỏng, mà từ đó tách ra các giá trị cực trị ở cuối phân bố thực nghiệm. Để giải quyết vấn đề này, các phân bố lâu dài bổ sung có thể được tính toán bằng cách sử dụng các mô phỏng bổ sung cho các khoảng tốc độ gió xác suất thấp. Tổng thời gian mô phỏng mỗi khoảng phải theo phân bố tốc độ gió ban đầu. Nhưng, một số phân bố thực nghiệm lâu dài mới có thể được hình thành bằng cách sử dụng dữ liệu mỗi khởi động ngẫu nhiên từ tất cả các khoảng, trong đó một số lượng lớn các mô phỏng có sẵn. Sau một số phân bố lâu dài được hình thành, chúng có thể được tính trung bình để tạo thành một phân bố lâu dài tổng hợp duy nhất mà có thể được sử dụng để ngoại suy đến các mức xác suất thấp hơn.

F.4 Tiêu chuẩn hội tụ

F.4.1 Quy định chung

Trong điều kiện tuabin tải cực trị, điều quan trọng đối với các tốc độ gió khác nhau thay đổi tùy theo tải đang được ngoại suy. Một số tải bị khống chế theo các tốc độ gió gần danh định, trong khi các tải khác lại bị khống chế gần tốc độ gió ngắt mạch hoặc tốc độ gió khác. Quan trọng là nhà thiết kế kiểm tra các tốc độ gió khống chế gần để đảm bảo đủ số lượng các mô phỏng được thực hiện nhằm đảm bảo sự ổn định của phương pháp. Tối thiểu 15 mô phỏng là cần thiết cho mỗi tốc độ gió từ $(V_{rated} - 2 \text{ m/s})$ để ngắt mạch và sáu mô phỏng là cần thiết đối với mỗi tốc độ gió V dưới $(V_{rated} - 2 \text{ m/s})$.

Ngoài một số tối thiểu các mô phỏng đối với các tốc độ gió $(V_{rated} - 2 \text{ m/s})$ để ngắt mạch, một tiêu chuẩn hội tụ bổ sung cũng sẽ được áp dụng theo 7.6.2. Số các mô phỏng đề nghị được xác định bằng cách tính toán khoảng tin cậy cho phân bố thực nghiệm kết quả. Số các mô phỏng được cho là đủ mà đối với chiều rộng khoảng tin cậy 90 % trên 84 % phân vị phân bố tải thực nghiệm của cực đại tổng thể nhỏ hơn 15 % ước lượng của 84 % điểm phân vị. Khoảng thời gian này có thể được ước lượng bằng cách sử dụng các phương pháp khởi động [3], phương pháp ước lượng nhị thức [4], hoặc nó có thể được ước lượng kế thừa như một phần của phương pháp ngoại suy được sử dụng.

Nếu các cực trị được thu nhận bằng cách sử dụng phương pháp bất kỳ khác (như cực đại khối) mà dẫn đến các cực trị m trên mô phỏng 10 min, tính trung bình, sau đó là 84 % điểm phân vị ở trên cần phải được thay thế bằng p^* , trong đó

$$p^* = (0,84)^{1/m} \quad (F.13)$$

Tiêu chuẩn hội tụ phải được áp dụng riêng cho mỗi phân bố tải ngắn hạn cho dù phân bố lâu dài sẽ phải được thiết lập bằng cách sử dụng tổng hợp dữ liệu tốc độ gió trước khi điều chỉnh hay các phân bố tham số điều chỉnh cho dữ liệu từ mỗi tốc độ gió được thực hiện trước khi tổng hợp.

Trong quy trình có liên quan đến tổng hợp trước khi điều chỉnh, phân bố thực nghiệm lâu dài cho các tải kéo theo tổng hợp tất cả các khoang tốc độ gió có thể được thiết lập bằng cách sắp xếp sử dụng tiêu chuẩn hội tụ tương tự như được đề xuất ở trên cho các phân bố ngắn hạn. Điểm phân vị thích hợp mà tại đó áp đặt tiêu chuẩn hội tụ phải cao hơn điểm phân vị tương ứng với bất kỳ biểu hiện "điểm uốn" (thường quan sát được) trong phân bố thực nghiệm lâu dài để đảm bảo độ hội tụ đó được kiểm tra gần với cuối của phân bố thực nghiệm này.

F.4.2 Ước lượng điểm phân vị tải

Điểm phân vị tải được mong đợi, $\hat{L}_c$, tương ứng với một xác suất không vượt quá p , được ước lượng như sau:

Thứ bậc tất cả các dữ liệu tải như $S_1 \leq S_2 \leq \dots \leq S_m$ nếu có m giá trị như vậy từ các mô phỏng. Chú ý rằng m sẽ bằng với số các mô phỏng nếu sử dụng cực đại toàn bộ.

Đối với mỗi giá trị p xác định, đảm bảo rằng có thể tìm thấy vài số nguyên i (trong đó $2 \leq i \leq m$), sao cho

$$\frac{i-1}{m+1} \leq p \leq \frac{i}{m+1} \quad (F.14)$$

Một số các cực trị đủ lớn, m , phải có sẵn (đối với mỗi số các mô phỏng đủ lớn sẽ phải được thực hiện) để cho các kết quả không bằng nhau ở trên và một giá trị i tìm được.

Sau đó, ước lượng điểm phân vị tải được tính toán (tuyến tính) nội suy như sau:

$$\hat{S}_p = S_{i-1} + [p(m+1) - (i-1)](S_i - S_{i-1}); \text{ trong đó } 2 \leq i \leq m \quad (F.15)$$

F.4.3 Ranh giới tin cậy

Các ranh giới tin cậy được ước lượng tới 90 % khoảng tin cậy trên 84 % điểm phân vị, $\hat{S}_{0,84}$ như sau:

$$\frac{\hat{S}_{0,84;0,05} - \hat{S}_{0,84;0,95}}{\hat{S}_{0,84}} < 0,15 \quad (F.16)$$

Khoảng thời gian $(\hat{S}_{0,84;0,05} - \hat{S}_{0,84;0,95})$ biểu diễn khoảng thời gian tin cậy 90 % mong đợi.

F.4.4 Khoảng tin cậy dựa trên mỗi khởi động

Sử dụng quy trình mỗi khởi động để tạo các khoảng tin cậy, [3] và [7], bắt đầu với thiết lập ban đầu của dữ liệu trên cực đại tổng thể ($m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 \dots m_p$) và một tái lấy mẫu cho mỗi khởi động có cùng kích thước như mẫu ban đầu. Lưu ý rằng các mẫu lấy lại để mỗi khởi động sẽ gồm các giá trị lặp lại từ mẫu ban đầu, đối với mỗi lần lấy mẫu lại, vì dữ liệu được lấy mẫu ngẫu nhiên thay thế. Quá trình được lặp lại để hình thành một số lượng lớn các mẫu lấy lại cho mỗi khởi động, N_b . Từ mỗi bộ dữ liệu p , ước lượng riêng của 84 % điểm phân vị có thể đạt được. Từ các ước lượng N_b này, tạo thành tập hợp $(l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 \dots l_{N_b})$, các khoảng tin cậy có thể được tìm thấy theo cách thông thường bằng cách sắp xếp dữ liệu. Sau đó các dữ liệu này có thể được sử dụng cho các tử số của công thức (F.16). Ước lượng của 84 % điểm phân vị mà được thu nhận từ dữ liệu ban đầu biểu diễn cho mẫu số của công thức (F.16).

Số mẫu lấy lại để mỗi khởi động tối thiểu là 25 có thể là đủ để xác định một ước lượng hợp lý cho các ranh giới độ tin cậy. Tuy nhiên, một số lượng lớn gần 5 000 sẽ dẫn đến nhiều ước lượng có thể tin cậy.

F.4.5 Khoảng tin cậy dựa trên phân bố nhị thức

Khoảng tin cậy dựa trên phân bố nhị thức ([7]) là tính toán ít chuyên sâu hơn so với những tính toán bằng cách sử dụng quy trình mỗi khởi động. Việc tiết giảm này được đơn giản hóa bằng cách lập bảng các tham số để tính toán khoảng tin cậy nhị thức mà sẽ cho kết quả đối với các tình huống phổ biến nhất. Đối với điểm phân vị tải bằng 0,84 và khoảng tin cậy 90 %, Bảng F.1 cung cấp các giá trị k^* và l^* cũng như hai giá trị khác, A và B , cần thiết cho phép nội suy các ranh giới tin cậy ước lượng trong công thức (F.17) dưới đây. Số các mô phỏng có thứ tự từ 15 đến 35 cho mỗi khoảng tốc độ gió.

Bảng F.1 – Các tham số cần thiết để thiết lập các khoảng tin cậy theo phương pháp nhị phân

Đối với khoảng tin cậy 90 % trên tải 84 %	Số các mô phỏng	k'	l'	A	B
	15	9	14	0,50	0,32
	16	10	15	0,27	0,19
	17	11	16	0,10	0,03
	18	11	16	0,87	0,96
	19	12	17	0,58	0,90
	20	13	18	0,35	0,83
	21	14	19	0,16	0,76
	22	14	20	1,00	0,69
	23	15	21	0,69	0,60
	24	16	22	0,45	0,50
	25	17	23	0,25	0,39
	26	18	24	0,28	0,26
	27	18	25	0,85	0,12
	28	19	25	0,58	0,98
	29	20	26	0,36	0,91
	30	21	27	0,18	0,83
	31	22	28	0,02	0,75
	32	22	29	0,75	0,66
	33	23	30	0,51	0,56
	34	24	31	0,31	0,44
	35	25	32	0,13	0,32

Các tham số trong Bảng F.1 được sử dụng với một công thức thiết kế mà được điều chỉnh để cho khoảng tin cậy 90 % đối với tối đa 10 min tải 84 %. Công thức thiết kế có thể được viết như sau:

$$(x_l - x_k) = (x_{l'} - x_{k'}) + B(x_{(l+1)'} - x_{l'}) - A(x_{(k+1)'} - x_{k'}) \quad (F.17)$$

Trong đó l' , k' , A , và B được đưa ra trong Bảng F.1 như một hàm của số các mô phỏng hoạt động và $x_{l'}$, $x_{(l+1)'}$, $x_{k'}$, và $x_{(k+1)'}$ được thu nhận từ các cực trị được mô phỏng theo bậc thứ tự. Sau đó, ước lượng này có thể được đưa vào Công thức (F.16) để xác định nếu phù hợp tiêu chuẩn hội tụ, trong đó

$$\hat{S}_{0,84;0,05} - \hat{S}_{0,84;0,95} \approx x_l - x_k \quad (F.18)$$

F.5 Phương pháp nghịch đảo bậc nhất độ tin cậy (IFORM)

Một thay thế cho các phương pháp ngoại suy tải điển hình là việc sử dụng IFORM để ước lượng các tải lâu dài. Trong phương pháp này, các mô phỏng đáp ứng tuabin gió và luồng xoáy được thực hiện với các điều kiện NTM. Có ít nhất 15 mô phỏng được thực hiện đối với các tốc độ gió ($V_{rated} - 2$ m/s) cho chế độ ngắt mạch. Các tốc độ gió mà sau đó có lợi cho việc xác định tải cao nhất. Phép ngoại suy các phân bố tải ngắn hạn theo một mức xác suất phù hợp với sự xác định thời gian quay vòng 50 năm đem đến tải 50 năm để sử dụng với DLC 1.1.

Tiêu chuẩn hội tụ cho IFORM phải giống như đối với các phương pháp ngoại suy khác, ngoại trừ khi nhà thiết kế chỉ cần ước lượng khoảng tin cậy cho các phân bố tải từ các tốc độ gió quan trọng xác định (thường chỉ có một).

Lý thuyết cho việc sử dụng kỹ thuật dạng nghịch đảo (IFORM) (dựa vào biến đổi các biến vật lý ngẫu nhiên theo các biến ngẫu nhiên tiêu chuẩn bình thường [8]) được minh chứng rõ ràng bằng tài liệu, xem ví dụ [9], và có thể được áp dụng để ước lượng tải tuabin gió lâu dài trong điều kiện NTM.

Để thực hiện kỹ thuật IFORM cho các tải tuabin gió cực trị, sử dụng các bước sau đây.

- Thực hiện 15 mô phỏng cho các khoảng tốc độ gió ($V_{rated} - 2$ m/s) để ngắt mạch.
- Xác định cho mỗi khoảng đem lại tải lớn nhất tối đa.
- Hoàn thiện tìm kiếm bằng cách thực hiện 15 mô phỏng khác cho các khoảng được xác định trong bước b). Một lần nữa, xác định các tốc độ gió thiết kế vượt trội, v^* , mà sinh ra các tải lớn nhất. Đảm bảo rằng các số mô phỏng tại các tốc độ gió quan trọng là đủ để chiều rộng 90 % khoảng tin cậy trên 84 % điểm phân vị phân bố tải thực nghiệm của cực đại tổng thể nhỏ hơn 15 % ước lượng của 84 % điểm phân vị.
- Chỉ thực hiện phân tích ngắn hạn cho các khoảng được xác định trong bước c). Điểm phân vị mong đợi của phân bố tải đối với khoảng này được dẫn xuất và phụ thuộc vào mức xác suất đích.

Sử dụng Rayleigh CDF, tính toán $U_1 = \phi^{-1}[F_v(v^*)]$

Đối với xác suất vượt quá trong 10 min một lần trong 50 năm, $p_T = 3,8 \cdot 10^{-7}$. Giá trị này tương ứng với $\beta = 4,95$

Giải ra ta có: $U_2 = [\beta^2 - U_1^2]^{1/2}$

Suy ra điểm phân vị tải $P_S = \phi(U_2)$, xem Bảng F.2.

Tải lâu dài có điểm phân vị P_S của phân bố ngắn hạn cho khoảng tốc độ gió, v^* . Để đạt được điểm phân vị thích hợp, có thể yêu cầu phép ngoại suy.

Bảng F.2 – Các xác suất vượt quá tải ngắn hạn như một hàm của tốc độ gió ở chiều cao của hub đối với các cấp tuabin gió khác để sử dụng với quy trình IFORM

v (m/s)	1 - P_s , cấp 1	1 - P_s , cấp 2	1 - P_s , cấp 3
5	5,77E-07	4,74E-07	4,16E-07
6	3,85E-07	3,72E-07	3,73E-07
7	3,87E-07	4,14E-07	4,55E-07
8	5,13E-07	5,93E-07	7,02E-07
9	8,50E-07	1,05E-06	1,33E-06
10	1,71E-06	2,25E-06	3,03E-06
11	4,14E-06	5,79E-06	8,24E-06
12	4,83E-07	4,14E-07	3,81E-07
13	3,71E-07	3,80E-07	4,07E-07
14	4,52E-07	5,22E-07	6,22E-07
15	7,66E-07	9,73E-07	1,27E-06
16	1,71E-06	2,37E-06	3,37E-06
17	4,93E-06	7,41E-06	1,14E-05
18	1,81E-05	2,95E-05	4,93E-05
19	4,32E-07	3,85E-07	3,71E-07
20	3,81E-07	4,14E-07	4,73E-07
21	5,64E-07	7,02E-07	9,10E-07
22	1,23E-06	1,71E-06	2,48E-06
23	3,72E-06	5,79E-06	9,31E-06
24	1,55E-05	2,67E-05	4,76E-05
25	8,80E-05	1,68E-04	3,34E-04

F.6 Tài liệu tham khảo

- [1] Wind Energy, Vol. 11, Number 6, November-December 2008, Special Issue on Design Load Definition (Số đặc biệt về định nghĩa tải thiết kế)
- [2] MORIARTY, P.J., HOLLEY, W.E., BUTTERFIELD, S.P. (2004) "Extrapolation of Extreme and Fatigue Loads Using Probabilistic Methods", NREL-NWTC, Golden, CO. (Phép ngoại suy các tải môi và cực trị sử dụng các phương pháp xác suất)
- [3] EFRON, B. and TIBSHIRANI, R. J., (1993) "An Introduction to the Bootstrap", Chapman and Hall,

New York. (Giới thiệu về sự môi khởi động)

[4] HOGG, R. V. and CRAIG, A. T., (1995) "Introduction to Mathematical Statistics", 5th Ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. (Giới thiệu về Toán học thống kê)

[5] Hoeffding, W., (1948) "A Non-Parametric Test of Independence," *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 19, No. 4, pp. 546-557. (Thử nghiệm phi tham số độc lập, lịch sử toán học thống kê)

[6] BLUM, J.R., KIEFER, J. and ROSENBLATT, M., (1961) "Distribution Free Tests of Independence based on the Sample Distribution Function," *The Annals of Mathematical Statistics*, Vol. 32, No. 2, pp. 485-498. (Các thử nghiệm phân bố tự do độc lập dựa trên hàm phân bố lấy mẫu, lịch sử toán học thống kê)

[7] FOGLE, J. AGARWAL, P. and MANUEL, L. (2008) "Towards an Improved Understanding of Statistical Extrapolation for Wind Turbine Extreme Loads," (Hướng tới hiểu biết cải thiện phép ngoại suy thống kê cho các tải cực trị tuabin gió)

[8] ROSENBLATT, M. (1952). "Remarks on a Multivariate Transformation", *Ann. Math. Stat.*, Vol. 23, pp. 470-472. (Nhận xét về biến đổi đa biến)

[9] SARANYASOONTORN, K. and MANUEL, L., "Design Loads for Wind Turbines using the Environmental Contour Method," *Journal of Solar Energy Engineering including Wind Energy and Building Energy Conservation*, Transactions of the ASME, Vol. 128, No. 4, pp. 554-561, November 2006. (Các tải thiết kế đối với các tuabin gió sử dụng phương pháp môi trường đồng mức)

Phụ lục G

(tham khảo)

Phân tích môi sử dụng quy tắc Miner có ngoại suy tải

G.1 Phân tích môi

Sự cố môi do một quá trình tích lũy thiệt hại do biến động các tải. Đối với loại quan sát độ môi bằng mắt thường này, có sự chấp thuận chung về một gia số thiệt hại do mỗi chu kỳ trễ được hiển thị trong biểu đồ ứng suất biến dạng cục bộ. Do đó, mỗi giá trị cực đại của biểu đồ gia tốc tải cục bộ được liên kết với giá trị tối thiểu cục bộ để hoàn thành một chu kỳ đầy đủ (đếm chu kỳ dòng nước mưa, xem Matsuishi & Endo, năm 1968, hoặc Dowling, 1972). Mỗi chu kỳ này được đặc trưng bởi các giá trị cực trị kết hợp (hoặc tương đương theo phạm vi và các giá trị điểm giữa, nghĩa là sự khác biệt giữa và trung bình của hai cực trị chu kỳ được kết hợp). Nếu thiệt hại tích tụ tuyến tính và độc lập cho mỗi chu kỳ (Palmgren, năm 1924, và Miner, 1945) thì tổng thiệt hại D , sẽ được đưa ra theo²⁷:

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

Trong đó: S_i là phạm vi tải cho chu kỳ thứ i và $N(.)$ là số chu kỳ có sự cố đối với một tải độ lớn không đổi có phạm vi nhất định theo đối số (tức là đường cong SN). Trong biểu thức này, giả định thêm rằng ứng suất cục bộ ở vị trí sự cố là tuyến tính liên quan đến tải. Thông thường, để phân tích độ môi, đường cong SN được chọn để thiết kế kết hợp với một xác suất tồn tại nhất định (thường là 95 %) và độ tin cậy (thường là 95 %) khi xác định đường cong từ số liệu vật liệu. Như vậy, mức mong muốn tối thiểu của độ tin cậy có thể được kỳ vọng khi thiệt hại tổng cộng theo một đơn vị.

Trong tuổi thọ của một tuabin gió, sẽ có nhiều chu kỳ có các kích thước khác nhau do một phạm vi rộng của các điều kiện gió. Vì vậy, với các mục đích thiết kế, phải ước lượng một phổ tải. Các chu kỳ lớn nhất đối với phổ này sẽ được ước lượng từ một điều chỉnh trơn tru với dữ liệu thu được từ các mô phỏng hoặc thử nghiệm theo khoảng thời gian mà ngắn hơn đáng kể so với tuổi thọ tuabin. Đối với mỗi điều kiện gió, có thể giả thiết rằng tải được mô hình hóa theo một quá trình dừng ngẫu nhiên. Do đó, thiệt hại dự kiến đối với một tốc độ gió V nhất định và trong một khoảng thời gian T cụ thể sẽ được đưa ra bởi

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

Trong đó $n_{ST}(S|V, T)$ là phổ tải ngắn hạn được xác định như một hàm mật độ theo số các chu kỳ. Trong

²⁷ Để dễ trình bày, ảnh hưởng của sự thay đổi về mức tải ở giữa cho mỗi chu kỳ được bỏ qua. Hạn chế này sẽ được loại bỏ sau, khi các vấn đề các mức điểm giữa khác nhau được giải quyết thông qua việc sử dụng một giới hạn chu kỳ tương đương.

trường hợp này, số các chu kỳ kỳ vọng trong khoảng phạm vi tải bất kỳ (S_A, S_B) khi khoảng thời gian T được đưa ra bởi $\int_{S_A}^{S_B} n_{ST}(S|V, T) dS$.

Thiết hại dự kiến từ các tải vận hành bình thường đối với cả tuổi thọ của tuabin sau đó được đưa ra bằng cách mở rộng khoảng thời gian theo thời gian cả tuổi thọ và tích phân trên phạm vi các tốc độ gió vận hành, sao cho

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

Trong đó: $p(V)$ là hàm mật độ xác suất đối với tốc độ gió tại chiều cao của hub được quy định cho các cấp tuabin gió tiêu chuẩn trong 6.3.1.1.

Bây giờ, xác định phổ tải lâu dài

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

Sau đó, đưa ra

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

Trong nhiều trường hợp, với các mục đích thực tế, thuận tiện để chia các phạm vi tải và các giá trị tốc độ gió vào các khoảng tách rời. Trong trường hợp này, thiết hại dự kiến có thể được xấp xỉ bằng

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

Trong đó n_{jk} là số các chu kỳ tải tuổi thọ ở tốc độ gió thứ j và các khoảng tải thứ k , và S_k là giá trị trung tâm đối với khoảng tải thứ k . Do vậy, từ định nghĩa trên,

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

Trong đó ΔV_j là chiều rộng của khoảng tốc độ gió thứ j và ΔS_k là chiều rộng của khoảng tải thứ k .

Bằng cách sử dụng những kết quả này, và xem xét các yêu cầu từ 7.6.3 về các hệ số an toàn được áp dụng cho tải, mối quan hệ giới hạn quy định để phân tích độ mỏi trở thành

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

Trong đó $\gamma = \gamma_t \cdot \gamma_m \cdot \gamma_n$ là sản phẩm của cả ba hệ số an toàn từng phần cho tải, vật liệu và hậu quả sự cố tương ứng. Trong điều kiện rời rạc, công thức này dẫn đến

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

Trong các trường hợp thiệt hại xảy ra đáng kể trong nhiều trường hợp tải từ Bảng 2 các thành phần thiệt hại đối với tất cả các trường hợp tải, được tính toán bằng cách sử dụng về trái của công thức (G.9), phải tổng cộng lại ít hơn hoặc bằng một.

Công thức đến thời điểm này đã bỏ qua ảnh hưởng của biến động tại các mức trung điểm đối với mỗi chu kỳ tải. Một cách đơn giản để đối phó với biến động này là để xác định các chu kỳ tải thiệt hại tương đương với giá trị trung điểm cố định. Trong trường hợp này, thiệt hại được thực hiện theo các chu kỳ tương đương là chính xác giống như đã được thực hiện bởi các chu kỳ có các trung điểm khác nhau. Vì vậy, sự cố sẽ xảy ra (tính trung bình) đối với cùng số chu kỳ độ lớn không đổi trong phạm vi chu kỳ tương đương, S_{eq} như đối với chu kỳ ở phạm vi chu kỳ nhất định và giá trị trung điểm bất kỳ. Do đó, việc xác định một họ các đường cong SN đối với các giá trị trung điểm thay đổi, $N(S,M)$, công thức thiệt hại tương đương

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

được giải cho các giá trị xác định S_{eq} đối với mỗi S , M và chọn mức trung điểm hằng số M_0 . Trong ngôn ngữ toán học, điều này có thể được quy định như sau

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

Trong đó, nghịch đảo nhắc đến giải pháp cho đối số đầu tiên trong hàm số là N được đưa ra cho đối số thứ hai. Điển hình, M_0 được chọn để cho các giá trị R (tỷ số tải tối đa trên tải tối thiểu) đối với các chu kỳ tải tương đương mà ở giữa phạm vi các giá trị được quan sát trực tiếp trên dữ liệu tải. Thông thường giá trị được chấp nhận là tải trung bình đang xét trên tất cả tốc độ gió làm việc. May là trong hầu hết các trường hợp, các đường cong SN được định nghĩa theo phạm vi tải phân tích chu kỳ tương đương (như định luật điện năng hoặc các dạng số mũ) được tính toán dễ dàng. Tuy nhiên, phải quan tâm khi phạm vi trở lên lớn hơn. Tùy thuộc vào giá trị trung điểm, giá trị tải tối đa hay tối thiểu đối với chu kỳ nhất định có thể thu được gần với độ bền tĩnh, trong trường hợp này, không thể áp dụng đường cong SN chu kỳ cao đơn giản. Ngoài ra, đối với các giá trị phạm vi lớn hơn, ứng suất hoặc độ bền cục bộ có thể chuyển đổi từ một trường hợp lực nén - lực nén hoặc lực căng - lực căng vượt trội thành một trường hợp lực căng - lực nén, mà có thể có một biểu diễn đường cong SN phân tích khác nhau. Quan trọng là sử dụng quan hệ SN thích hợp trong việc xác định phạm vi chu kỳ tương đương. Đối với một biểu đồ gia tốc tải nhất định, chu kỳ dòng mưa được xác định đầu tiên. Sau đó, một tập hợp các chu kỳ điểm trung bình không đối xứng tương đương được tính toán xem xét quan hệ SN thích hợp cho mỗi chu kỳ. Sau đó, phân bố các chu kỳ tương đương được ước lượng cho một phổ tải tương đương ngắn hạn mới. Sau đó, phổ mới này được sử dụng để xác định số các chu kỳ được sử dụng cho phần thiệt hại đối với mỗi tải và khoảng tốc độ gió. Ưu điểm chính của việc sử dụng phương pháp này là ước lượng phổ tương đương thống kê mạnh mẽ hơn cân đối các mức trung điểm như một biến độc lập. Bởi vì, lợi thế này dẫn đến nhiều chu kỳ tải được tính đến theo các chuỗi dữ liệu tải thời gian điển hình đối

với mỗi tải khoảng tốc độ gió hơn là khi các khoảng trung điểm cũng được đổi theo riêng biệt.

Một vấn đề thực tế bên ngoài phát sinh trong khi xác định phổ tải ngắn hạn là số lượng lớn các chu kỳ nhỏ được xác định theo phương pháp dòng mưa. Các chu kỳ nhỏ này thường có thể xảy ra tại các điểm lân cận theo thời gian và do đó có thể được phối hợp. Các chu kỳ nhỏ cũng có thể làm biến dạng các xấp xỉ giải tích theo phần cuối của phân bố. Do đó, đề xuất chỉ xem xét các chu kỳ lớn hơn một ngưỡng khi xấp xỉ phần cuối của phân bố ngắn hạn. Một giá trị ngưỡng của ít nhất 95 % các công việc tốt điển hình trong thực tế. Các giá trị ngưỡng thấp hơn có thể thích hợp nếu các chu kỳ nhỏ đã được loại bỏ hoặc nếu tăng số lượng các điểm dữ liệu được sử dụng cho quá trình điều chỉnh được dự kiến để mang lại độ tin cậy thống kê bổ sung đáng kể.

Đối với các ứng dụng thiết kế tuabin gió thực tế, cần phải ước lượng phổ tải tương đương ngắn hạn từ dữ liệu mô phỏng động lực và sau đó tính toán thiệt hại tuổi thọ. Một phương pháp hoàn thành nhiệm vụ này được đưa ra bởi quy trình sau đây:

- chọn mức điểm trung bình chuẩn như mức tải trung bình xét tất cả tốc độ gió;
- từ dữ liệu mô phỏng đối với một tốc độ gió nhất định, tách tuần tự cực đại và cực tiểu cục bộ. Các trình tự cực đại và cực tiểu cục bộ từ nhiều chuỗi thời gian đối với các điều kiện gió tương tự có thể được ghép nối vào một chuỗi duy nhất;
- sử dụng phương pháp dòng mưa để xác định trung điểm và phạm vi cho mỗi chu kỳ tải mô phỏng;
- xác định phạm vi tương đương cho mỗi chu kỳ tải liên quan đến mức trung điểm chuẩn đã chọn;
- xác định một sự điều chỉnh giải tích cho phân bố xác suất ngắn hạn của các chu kỳ tải tương đương, $F_{ST}(S|V, T)$ đối với dữ liệu trên ngưỡng đã chọn. Chỉ dẫn đối với một phương pháp để điều chỉnh phân bố có thể được tìm thấy trong Moriarty và Holley, 2003. Kiểu phân bố được lựa chọn phải được kiểm tra để xem sự điều chỉnh theo dữ liệu là chấp nhận được và liệu có đủ số liệu để ước lượng tin cậy cho hoạt động phần cuối được so sánh với dữ liệu;
- xác định số lượng chu kỳ tuổi thọ dự kiến trong mỗi khoảng bằng cách sử dụng dữ liệu khi khoảng tải dưới ngưỡng và phân bố tải được điều chỉnh khi khoảng tải trên ngưỡng. Điều này dẫn đến

$$n_{jk} \approx \left(\frac{Lifetime}{T} \right) P_j \left\{ \begin{array}{ll} m_{jk} & \text{nếu } S_k \text{ dưới ngưỡng } j^{th} \\ M_j \left(F \left(S_k + \frac{\Delta S_k}{2} \middle| V_j, T \right) - F \left(S_k + \frac{\Delta S_k}{2} \middle| V_j, T \right) \right) & \text{nếu } S_k \text{ trên ngưỡng } j^{th} \end{array} \right\} \quad (G.12)$$

Trong đó: m_{jk} là số các chu kỳ mỗi mô phỏng được tính trong dữ liệu đối với khoảng tốc độ gió thứ j và khoảng tải thứ k dưới ngưỡng, M_j là số các chu kỳ mỗi được tính trong mô phỏng trên ngưỡng,

và $P_j = e^{-\pi \left(\frac{V_j - \Delta V_{j/2}}{2V_{ave}} \right)^2} - e^{-\pi \left(\frac{V_j + \Delta V_{j/2}}{2V_{ave}} \right)^2}$ là phần theo thời gian của tốc độ gió trong khoảng thứ j đối với phân bố tốc độ gió Rayleigh được giả thiết.

- Tổng hợp thiệt hại bằng cách sử dụng vế trái của công thức (G.9).

2) Tổng hợp tổng thiệt hại tuổi thọ từ tất cả các trường hợp tải môi.

Khi sử dụng quy trình này, phải cẩn thận rằng

- a) độ phân giải của các khoang phạm vi tải và tốc độ gió là đủ cho độ chính xác số học mong đợi, và
- b) Các giá trị của phạm vi tải đủ lớn được sử dụng để đại diện đầy đủ cho phần cuối phân bố tải dài lâu.

Vấn đề đầu tiên có thể được giải quyết bằng cách xấp xỉ các lỗi theo một nửa sự khác biệt giữa các kết quả tính toán theo hai độ phân giải của khoang khác nhau bỏ qua dữ liệu từ tất cả các tốc độ gió hoặc phạm vi tải khác. Một cách khác sẽ được tính toán tổng thiệt hại bằng cách sử dụng các điểm cuối đối với các giá trị khoảng thay vì các giá trị trung tâm để ràng buộc kết quả.

Vấn đề thứ hai có thể được giải quyết bằng việc tăng liên tiếp giá trị khoang phạm vi tải cao nhất cho đến khi một sự gia tăng đáng kể trong thiệt hại tuổi thọ quan sát được. Chú ý vì tỷ số $\frac{Lifetime}{T}$ là một số lớn, nên khoang tải được yêu cầu lớn nhất có thể đủ lớn hơn chu kỳ lớn nhất được quan sát trong dữ liệu mô phỏng. Do điều này dẫn đến tổng biểu đồ gia tốc tải được mô phỏng nhỏ hơn nhiều tuổi thọ của tuabin, và ngoại suy thống kê được yêu cầu để ước lượng chính xác thiệt hại từ phần cuối phân bố tải dài lâu.

G.2 Tài liệu tham khảo

Dowling, N.E., *Fatigue Failure Predictions for Complicated Stress-strain Histories*, J. OfMaterials, v.7, n.1, Mar., 1972, pp. 71-87. (Các dự báo sự cố mỏi đối với các lịch sử ứng suất – biến dạng phức tạp)

Matsuishi, M. and Endo, T., *Fatigue of Metals Subjected to Varying Stress*, Proc. Japan Soc.of Mech. Engrs., n. 68-2, 1968, pp. 37-40. (Mỏi của các kim loại chịu ứng suất thay đổi)

Miner, M.A. *Cumulative Damage in Fatigue*, J. of Applied Mech., v.12, 1945, pp. A159-A164. (Thiệt hại tích lũy mỏi)

Moriarty, P. J. and Holley, W. E., *Using Probabilistic Models in Wind Turbine Design*, Proc.ICASP9, San Francisco, CA, July 6-9, 2003. (Sử dụng các mô hình xác suất trong thiết kế tuabin gió)

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

Phụ lục H
(tham khảo)

Các tải đồng thời

H.1 Quy định chung

Các phân tích kết cấu chi tiết của các thành phần tuabin gió thường sử dụng phần tử hữu hạn hoặc mô hình thích hợp khác để xác định ứng suất hoặc sức căng cục bộ do tải đặt lên các thành phần đó. Các phân tích này thường xác định mặt phẳng giao diện thích hợp trong đó các tải đặt vào đang hoạt động (ví dụ như giao diện ổ bi xoay tuabin, xác định tải trọng đỉnh cột tháp). Trong trường hợp này, có sáu thành phần tải xác định các điều kiện biên cho việc mang tải, ba lực F_x , F_y và F_z , và ba momen M_x , M_y , và M_z . Để thuận tiện, các trục x , y ở đây được lấy trên mặt phẳng tải và trục z vuông góc với mặt phẳng. Để mô tả các tình huống tải cực đại, một ma trận tải thường được định nghĩa như thể hiện trong Bảng H.1.

Bảng H.1 – Ma trận tải cực trị

	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z	F_R	θ_F	M_R	θ_M
Lớn nhất										
Nhỏ nhất										
Lớn nhất										
Nhỏ nhất										
Lớn nhất										
Nhỏ nhất										
Lớn nhất										
Nhỏ nhất										
Lớn nhất										
Nhỏ nhất										
Lớn nhất										
Nhỏ nhất										
Lớn nhất										
Nhỏ nhất										
Lớn nhất										
Nhỏ nhất										

Trong bảng này, mỗi cột đại diện cho một giá trị thành phần tải được mô tả bởi các tiêu đề cột. Mỗi hàng đại diện cho các giá trị đồng thời (tức là tất cả các giá trị xảy ra cùng một lúc) và các ô xám biểu diễn thành phần cụ thể mà có hoặc một giá trị tối đa hoặc một giá trị tối thiểu như nêu ở cột bên trái. Các giá trị tối đa và tối thiểu nhằm bao trùm phạm vi đầy đủ các giá trị đối với thành phần tải cụ thể. Sau đó, mô hình kết cấu chi tiết được thực hiện bằng cách sử dụng mỗi hàng để xác định các giá trị ứng suất hoặc sức căng cục bộ sinh ra, và được so sánh với tiêu chí hỏng hóc thích hợp. Khi độ cứng và độ bền của kết cấu trong đáp ứng tải trên mặt phẳng tương tự theo các hướng tải khác nhau, hầu

hết tải cực trị có thể xảy ra khi cả hai thành phần x và y có biên độ lớn nhưng không phải ở các giá trị rất lớn của chúng. Như vậy, các giá trị vector hợp lực trong mặt phẳng cũng được hiển thị trong các cột bổ sung ở bên phải và các hàng ở phía dưới. Các hợp lực trong mặt phẳng này được xác định là

$$F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad \text{và} \quad M_R = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad (\text{H.1})$$

Các hướng góc của các hợp lực này cũng được xác định là

$$\theta_F = \arctan\left(\frac{F_y}{F_x}\right) \quad \text{và} \quad \theta_M = \arctan\left(\frac{M_y}{M_x}\right) \quad (\text{H.2})$$

Các giá trị trong bảng được xác định bằng cách phân tích sau xử lý chuỗi thời gian đối với sáu thành phần phân tải được xác định như các đầu ra từ mã mô phỏng động lực học tuabin gió hoàn chỉnh. Trong phân tích này, chuỗi thời gian được tìm kiếm cho các giá trị tối đa và tối thiểu đối với mỗi thành phần cũng như cực đại cho các hợp lực. Các giá trị đồng thời kết hợp với mỗi thời điểm tương ứng này sau đó được đưa vào các hàng của bảng. Mỗi trường hợp tải quy định tại điều 7 được phân tích theo cách này và sau đó hầu hết tải cực trị trong mỗi hàng từ các trường hợp tải khác nhau được sử dụng để xác định các tải tổng thể bao phủ bộ phận đó của tuabin gió.

Trong phần tiếp theo, đưa ra hai cách tiếp cận. Lưu ý phải thực hiện thận trọng để thu được các tải bảo toàn đồng thời.

H.2 Chia tỷ lệ

Cách tiếp cận này bao gồm các bước

- Đối với mỗi mặt cắt và thành phần tải, một khoảng trường hợp tải được xét dẫn đến tải đặc trưng tối đa
- Một chuỗi thời gian từ khoảng này gần bằng với giá trị tối đa của nó trong khoảng $\pm 5\%$ tải đặc trưng được chọn này.
- Giá trị tối đa của chuỗi thời gian này được tỷ lệ theo tải đặc trưng. Sau đó các hệ số tỷ lệ thu được cũng được áp dụng cho tất cả các thành phần tải đồng thời để giá trị này được chọn tối đa theo chuỗi thời gian này.
- Đối với mỗi thành phần tải, một loạt trường hợp tải thu được sẽ được sử dụng để phân tích tải cực trị.
- Đối với các giá trị tối thiểu, quy trình được áp dụng phù hợp.

H.3 Lấy trung bình

Cách tiếp cận này bao gồm các bước

- Đối với một trường hợp tải gồm nhiều hơn một thực hiện tải dương tới hạn được tính bằng trung

TCVN 10687-1:2015

bình tối đa của mỗi thực hiện.

- Các tải đồng thời được tính theo trung bình các giá trị đồng thời tuyệt đối của mỗi lần thực hiện. Dấu trên các tải đồng thời được áp dụng phù hợp với dấu của các tải đồng thời của lần thực hiện với tải cao nhất.
- Các tải âm tới hạn được tính theo trung bình tối đa mỗi lần thực hiện. Các tải đồng thời được tính theo cùng cách như trường hợp dương.
- Tải tới hạn tuyệt đối được lấy theo tối đa các giá trị tuyệt đối của các trung bình tối đa và các trung bình tối thiểu các tải được mô tả ở trên với các giá trị đồng thời tương ứng.

Thư mục tài liệu tham khảo

Các tiêu chuẩn sau liên quan đến việc thiết kế các tuabin gió:

- [1] TCVN 6627 (IEC 60034) (tất cả các phần), *Máy điện quay*
- [2] TCVN 7995 (IEC 60038), *Điện áp tiêu chuẩn*
- [3] IEC 60146 (all parts), *Semiconductor converters (Bộ chuyển đổi bán dẫn)*
- [4] IEC 60173:1964, *Colours of the cores of flexible cables and cords (màu sắc của lõi các cáp và dây linh hoạt)*
- [5] TCVN 6610 (IEC 60227) (tất cả các phần), *Cáp cách điện bằng PVC có điện áp danh định đến và bằng 450/750V*
- [6] TCVN 9615 (IEC 60245) (tất cả các phần), *Cáp cách điện bằng cao su có điện áp danh định đến và bằng 450/750 V*
- [7] TCVN 5926 (IEC 60269) (tất cả các phần), *Cầu chảy hạ áp*
- [8] IEC 60287 (tất cả các phần), *Electric cables – Calculation of the current rating (Cáp điện – Tính toán thông số đặc trưng dòng điện)*
- [9] TCVN 7994 (IEC 60439) (tất cả các phần), *Tủ điện đóng cắt và điều khiển hạ áp*
- [10] IEC 60446:2007, *Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Identification of conductors by colours or alphanumerics (Nguyên tắc cơ bản và an toàn cho giao diện người-máy, ghi nhãn và nhận biết – Nhận biết các dây dẫn bằng màu sắc hoặc các ký tự số)*
- [11] IEC 60529:1989, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code) (Cấp bảo vệ bằng vỏ ngoài)*
- [12] TCVN 7992 (IEC 60617), *Ký hiệu bằng hình vẽ trên sơ đồ*
- [13] IEC/TR 60755:2008, *General requirements for residual current operated protective devices (Yêu cầu chung đối với các thiết bị bảo vệ tác động bằng dòng dư)*
- [14] TCVN 6434 (IEC 60898), *Khí cụ điện – Aptômat bảo vệ quá dòng dùng trong gia đình và các hệ thống lắp đặt tương tự*
- [15] IEC 61310-1:2007, *Safety of machinery – Indication, marking and actuation – Part 1: Requirements for visual, acoustic and tactile signals (An toàn máy – Chỉ thị, ghi nhãn và vận hành – Phần 1: Yêu cầu đối với các tín hiệu hình ảnh, âm thanh và tiếp xúc)*
- [16] IEC 61310-2:2007, *Safety of machinery – Indication, marking and actuation – Part 2: Requirements for marking (An toàn máy – Chỉ thị, ghi nhãn và vận hành – Phần 2: Yêu cầu đối với ghi nhãn)*
- [17] ISO 3010:2001, *Basis for design of structures – Seismic actions on structures (Cơ sở thiết kế các*

TCVN 10687-1:2015

kết cấu – Hoạt động địa chấn trên kết cấu)

[18] ISO 8930:1987, *General principles on reliability for structures – List of equivalent terms* (Nguyên tắc chung về độ tin cậy đối với các kết cấu – Liệt kê các thuật ngữ tương đương)

[19] TCVN ISO 9001, *Hệ thống quản lý chất lượng – Các yêu cầu*
