

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP  
\*\*\*\*\***

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**ĐỀ TÀI:  
MÔ HÌNH HÓA VÀ TÍNH TOÁN KẾT CẤU CÁN  
TURBINE GIÓ KIỂU TRỤC ĐỨNG THEO LÝ THUYẾT  
CHUYỂN VỊ BẬC NHẤT BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ  
HỮU HẠN.**

Học Viên: Trần Thị Nam Thu  
Lớp: CHK11 CTM  
Chuyên ngành: Công nghệ Chế tạo máy  
HDKH: PGS.TS. Ngô Như Khoa

**THÁI NGUYÊN – 2010**

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP  
\*\*\*\*\***

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**ĐỀ TÀI:  
MÔ HÌNH HÓA VÀ TÍNH TOÁN KẾT CẤU CÁNH TURBINE  
GIÓ KIỂU TRỤC ĐỨNG THEO LÝ THUYẾT CHUYỂN VỊ  
BẬC NHẤT BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN.**

Học Viên: Trần Thị Nam Thu  
Lớp: CHK11 CTM  
Chuyên ngành: Công nghệ Chế tạo máy  
HDKH: PGS.TS. Ngô Như Khoa

**HƯỚNG DẪN KHOA HỌC**

**PGS.TS. Ngô Như Khoa**

**HỌC VIÊN**

**Trần Thị Nam Thu**

**THÁI NGUYÊN – 2010**

## MỤC LỤC

Lời cảm ơn.....	1
Mục lục.....	1
Bảng các ký hiệu và chữ cái viết tắt.....	3
Mở đầu.....	5
<b>Chương 1. Tổng quan về kết cấu cánh Turbine gió và vật liệu Composite.....</b>	<b>8</b>
1.1. Giới thiệu.....	8
1.2. Cánh và kết cấu cánh: Hình dáng hình học và khí động học cánh turbine... 9	9
1.2.1. Các thông số hình học.....	9
1.2.2. Hình dáng biên dạng cánh.....	9
1.2.3. Khí động lực học tác dụng trên cánh quay trong môi trường tĩnh.....	10
1.3. Lực, sự phân bố áp lực và một số yếu tố ảnh hưởng đến sự phân bố áp lực trên cánh turbine.....	12
1.3.1. Nguyên lý.....	13
1.3.2. Khái niệm cơ bản của sự phân bố áp lực.....	14
1.3.3. Ảnh hưởng hình học biên dạng cánh.....	16
1.3.3.1. Ảnh hưởng của kích thước ngăn.....	16
1.3.3.2. Ảnh hưởng của chiều dày.....	17
1.3.4. Ảnh hưởng của số Reynol.....	21
1.4. Vật liệu Composite.....	21
1.4.1. Lý thuyết tấm nhiều lớp kinh điển.....	25
1.4.2. Lý thuyết biên dạng cắt bậc nhất.....	26
1.5. Kết luận.....	26
<b>Chương 2. Xây dựng các hệ thức cơ bản cho kết cấu dạng vỏ bằng vật liệu Composite lớp theo lý thuyết chuyển vị bậc nhất của Midlin .....</b>	<b>28</b>

2.1. Trường chuyển vị.....	28
2.2. Trường biến dạng.....	29
2.3. Trường ứng suất.....	30
2.4. Trường nội lực.....	32
<b>Chương 3. Tính toán vỏ Composite nhiều lớp chịu uốn bằng phương pháp phần tử hữu hạn.....</b>	<b>37</b>
3.1. Mô hình hóa bài toán.....	37
3.2. Mô hình hóa phần tử vỏ.....	38
3.2.1. Ma trận độ cứng của phần tử vỏ.....	44
3.2.2. Quy đổi về lực nút.....	49
3.2.3. Hệ phương trình phần tử hữu hạn.....	49
<b>Chương 4. Xây dựng hệ phương trình phần tử hữu hạn cho kết cấu vỏ sử dụng phần tử tứ giác bậc hai.....</b>	<b>52</b>
4.1. Giới thiệu.....	52
4.2. Phần tử tứ giác bậc hai.....	52
4.3. Phần tử quy chiếu.....	53
4.4. Ma trận Jacobien của các phần tử.....	58
4.5. Xây dựng ma trận độ cứng tổng thể K.....	60
4.6. Xây dựng véc tơ lực nút tổng thể F.....	81
<b>Chương 5. Kết quả số.....</b>	<b>86</b>
<b>Kết luận chung.....</b>	<b>60</b>
<b>Tài liệu tham khảo.....</b>	<b>81</b>

**BẢNG CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ CÁI VIẾT TẮT**

Ký hiệu	Tên các đại lượng
a, b	Các kích thước của kết cấu vỏ: chiều dài, chiều rộng.
s r z	Hệ trục chung của vỏ.
x y z	Hệ trục tọa độ địa phương của vỏ theo các phương khi đã chuyển đổi về hệ trục chung.
u, v, w	Là các thành phần chuyển vị theo các phương s, r, z của vỏ.
$u^0, v^0, w^0$	Là các thành phần chuyển vị theo các phương s, r, z tại mặt trung bình của vỏ.
$\partial/\partial\dots$	Toán tử đạo hàm riêng theo...
$\epsilon_s, \epsilon_r, \epsilon_z$	Các thành phần biến dạng dài theo các phương s, r, z của vỏ.
$R_1, R_2$	Bán kính tọa độ cong trục giao r, s
$\epsilon_{rs}, \epsilon_{sz}, \epsilon_{rz}$	Các thành phần biến dạng góc của vỏ.
$\epsilon_s^0, \epsilon_r^0, \epsilon_{rs}^0, \epsilon_{sz}^0, \epsilon_{rz}^0$	Là các biến dạng của mặt phẳng trung tâm tấm.
$k_s, k_r, k_{rs}$	Là các thành phần độ cong.
$\sigma_{11}, \sigma_{22}$	Là các thành phần ứng suất pháp của vỏ
$\sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{23}$	Là các thành phần ứng suất tiếp của vỏ
$\epsilon_{11}, \epsilon_{22}, \epsilon_{12}, \epsilon_{13}, \epsilon_{23}$	Là các thành phần biến dạng của vỏ
$Q_k$	Là các ma trận đàn hồi
$\{N\}$	Ma trận các thành phần lực màng của vỏ.
$\{Q\}$	Ma trận các thành phần lực cắt của vỏ.

$\{M\}$	Ma trận các thành phần mô men nội lực của vỏ.
$\{d\}$	Véc tơ chuyển vị
$\{d_i\}$	Véc tơ chuyển vị nút của phần tử vỏ
$\{d^t\}$	Véc tơ chuyển vị điểm Mt của phần tử vỏ.
$N_i$	Hàm nội suy nút của vỏ.
$L_i$	Ma trận các toán tử của vỏ.
$[B_i]$	Ma trận tính biến dạng của vỏ.
$\{a\}$	Chuyển vị nút của phần tử vỏ.
$[K_e]$	Ma trận độ cứng của phần tử vỏ.
$[K]$	Ma trận độ cứng tổng thể
$\{P\}_e$	Véc tơ tải trọng tác dụng lên phần tử.
$\{F\}$	Véc tơ lực nút chung
$[B]_P$	Ma trận tính lực
$\xi, \eta$	Hệ tọa độ quy chiếu.
$[J],  J $	Ma trận Jacobien và định thức của nó
$\xi_i, \eta_i$	Tọa độ các điểm Gauss
$W_i$	Hàm trọng số tại điểm Gauss
$\theta_s, \theta_r$	Là các góc xoay quanh các trục r, s của vỏ.
$\theta$	Là góc phương sợi của lớp vật liệu vỏ
PTHH (FEM)	Phần tử hữu hạn

## MỞ ĐẦU

Bộ phận chính của máy phong điện kiểu trục ngang hay trục đứng là bộ phận cánh, đặc biệt là khả năng quay của cánh. Để nó hoạt động tốt cần chú ý tới việc lựa chọn hình dạng và kích thước cánh tối ưu. Biên dạng cánh turbine có thể ở dạng tấm phẳng đơn giản; dạng vỏ trụ; hay dạng khí động học phức tạp. Xét về mặt kết cấu, cánh turbine gió thường ở dạng kết cấu tấm/vỏ có hoặc không có gân gia cường và ở dạng hộp panel, vật liệu thường sử dụng là vật liệu composite lớp.

Việc nghiên cứu xây dựng các mô hình tính toán cho kết cấu cánh turbine gió là không thể thiếu trong quá trình thiết kế nó góp phần nâng cao hiệu suất của các máy phong điện. Đây là nhóm kết cấu phức tạp. Trong lĩnh vực cơ học vật liệu và kết cấu Composite các phương pháp có thể được chia thành hai nhóm: nhóm phương pháp giải tích và nhóm phương pháp số. Ở đây, luận văn đã sử dụng nhóm phương pháp số mà cụ thể là phương pháp phần tử hữu hạn để xây dựng mô hình cơ học tính toán ứng xử cơ học kết cấu cánh. Phương pháp này đã được ứng dụng vào cơ học từ rất lâu, nó thường được sử dụng để khảo sát các mô hình có những đặc điểm cơ học phức tạp. Do đặc điểm quản lý thông tin về nút (lực nút, chuyển vị nút) nên khối lượng tính toán sơ cấp rất lớn. Phương pháp phần tử hữu hạn chỉ thực sự có ý nghĩa khi được ứng dụng máy tính. Vì vậy mà luận văn đã xây dựng chương trình tính bằng MATLAB.

Dựa trên cơ sở mô hình cơ học, nghiên cứu xây dựng mô hình PTHH để có thể giải quyết các bài toán bền, cứng cho cánh turbine khi chịu tác dụng của tải trọng gió.

Gần đây đã có một số nghiên cứu liên quan đến đề tài như: Nghiên cứu động lực học cánh turbine nhằm nâng cao hiệu quả và độ an toàn của hệ thống cánh turbine gió [1], [5]; hay nghiên cứu động lực học cánh turbine kiểu trục đứng nhằm nâng cao hiệu quả mặt hứng gió và giảm thiểu ảnh hưởng của mặt cản gió cho cánh turbine [2]; Một số nghiên cứu về hiệu quả sử dụng vật liệu composite lớp cho cánh turbine [6].

Các nghiên cứu trong nước về hệ thống turbine gió nói riêng và phong điện nói chung còn đặc biệt ít. Nghiên cứu có quy mô và gần đây nhất có thể kể đến là kết quả

của nhóm nghiên cứu do PGS-TSKH Nguyễn Phùng Quang [4] là nghiên cứu, thiết kế và chế tạo hệ thống phát điện chạy bằng năng lượng gió có công suất danh định từ 10KW đến 30KW. Nội dung nghiên cứu tập trung chủ yếu vào việc xây dựng các bộ điều khiển: bộ điều khiển nạp bank accu, bộ điều khiển công suất phát, bộ nghịch lưu và tích hợp với hệ thống turbine gió và máy phát nhập ngoại.

Luận văn của Chu Đức Quyết [8], đã tính toán thiết kế các vị trí, số cánh, kích thước hệ thống cánh phẳng cho máy phong điện kiểu trục đứng.

Và một số nghiên cứu về kết cấu tấm có gân gia cường bằng vật liệu composite lớp, như: Nguyễn Tiến Dũng [7], trong đó, đề tài đã thiết lập được phần tử lai tấm gân để xây dựng mô hình PTHH cho bài toán kết cấu tấm có gân tăng cứng chịu tải trọng phân bố đều và áp dụng mô hình chuyển vị bậc nhất Mindlin với việc sử dụng phần tử tam giác bậc cao (6 nút tại mỗi phần tử và mỗi nút có 5 bậc tự do), để xây dựng ma trận độ cứng phần tử của tấm – gân; Trần Hữu Quốc [9], đã xây dựng mô hình phần tử tấm – gân với phần tử tứ giác 9 nút cho tấm và phần tử dầm 3 nút cho gân, dựa trên lý thuyết chuyển vị cắt bậc cao của Reddy.

Mặc dù ngành công nghiệp chế tạo turbine gió nói chung trên thế giới đã và đang được phát triển mạnh mẽ, tuy nhiên các công trình công bố cũng như các tài liệu về vấn đề này còn rất hạn chế, đặc biệt là vấn đề tính toán cơ học kết cấu cánh, nội dung đề cập đến trong đề tài luận văn này.

Trong luận văn này, bằng phương pháp phần tử hữu hạn, sử dụng phần tử tứ giác 4 nút và sử dụng hàm nội suy hình học tại các nút của phần tử vỏ để tính ma trận độ cứng của vỏ. Khảo sát bài toán tĩnh để phân tích biến dạng của kết cấu vỏ kín làm bằng vật liệu composite.



## MỤC TIÊU VÀ NHIỆM VỤ NGHIÊN CỨU CỦA LUẬN VĂN

- Tên đề tài: **Mô hình hoá và tính toán kết cấu cánh turbine gió kiểu trục đứng theo lý thuyết chuyển vị bậc nhất bằng phương pháp phần tử hữu hạn.**

- Mục tiêu: Xây dựng mô hình cơ học tính toán ứng xử cơ học kết cấu cánh turbine gió kiểu trục đứng bằng vật liệu composite lớp.

- Đối tượng nghiên cứu: Tính toán số đối với bài toán vỏ kín bằng vật liệu Composite lớp, liên kết ngàm 2 đầu chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều.

- Nhiệm vụ:

+ Nghiên cứu tổng quan về các công trình đã được thực hiện trong và ngoài nước đối với kết cấu vỏ bằng vật liệu Composite lớp.

+ Xây dựng mô hình hoá kết cấu cánh turbine gió, xây dựng được mô hình cơ học tính toán ứng xử cơ học kết cấu

+ Xây dựng mô hình phần tử hữu hạn tính toán ứng xử cơ học kết cấu cánh turbine.

+ Xây dựng chương trình tính bằng MATLAB, áp dụng tính toán cơ học kết cấu cánh turbine của trạm phong điện kiểu trục đứng công suất 10KW, vật liệu cánh là Composite lớp, nền nhựa cốt sợi thủy tinh .

## CHƯƠNG I. TỔNG QUAN VỀ KẾT CẤU CÁNH TURBINE GIÓ VÀ VẬT LIỆU COMPOSITE.

### 1.1. Giới thiệu

Hiện nay, trong số các nguồn năng lượng mới, năng lượng bằng sức gió phát triển nhanh nhất trên thế giới vì nguyên liệu dồi dào, rẻ tiền, dễ áp dụng, sạch và không làm hại môi trường. Các máy phát điện lợi dụng sức gió (trạm phong điện) đã được sử dụng nhiều ở các nước châu Âu, Mỹ và các nước công nghiệp phát triển khác. Đúc đang dẫn đầu thế giới về công nghệ phong điện.

Hiện có các loại máy phát phong điện với công suất rất khác nhau, từ 1 kW tới hàng MW. Các trạm phong điện có thể hoạt động độc lập hoặc cũng có thể nối với mạng điện quốc gia. Các trạm phong điện có thể phát điện khi tốc độ gió từ 3 m/s (11 km/h), và tự ngừng phát điện khi tốc độ gió vượt quá 25 m/s (90 km/h). Tốc độ gió hiệu quả từ 10 m/s tới 17 m/s, tùy theo từng thiết bị phong điện.

Như vậy năng lượng gió là nguồn năng lượng tái tạo phát triển hơn cả. Trong tương lai nguồn năng lượng tái tạo thu được từ các turbine gió đóng vai trò quan trọng trong sự phát triển của nguồn điện. Turbine được phân ra làm hai loại: Turbine gió trục ngang (HAWT) và turbine gió trục đứng (VAWT), các turbine này chúng khác nhau về vị trí trục. Mặc dù HAWT hiệu quả hơn và với sự chế tạo phong phú chúng được sử dụng phổ biến. VAWT được nghiên cứu bởi nhiều nhà nghiên cứu sử dụng công nghệ phân tích hiện đại.

Có thể thấy rằng, phạm vi cũng như quy mô sử dụng các trạm phong điện trục đứng còn rất khiêm tốn so với các hệ thống HAWT, các hệ thống VAWT có thể hoạt động bình đẳng với mọi hướng gió nên có cấu tạo đơn giản, các bộ phận đều có kích thước không quá lớn nên vận chuyển và lắp ráp dễ dàng, độ bền cao, duy tu bảo dưỡng đơn giản. Với đặc điểm như vậy, nên thị trường mà các công ty R&D (nghiên cứu chế tạo và thương mại hóa) hệ thống này (chủ yếu của Trung Quốc) hiện đang hướng tới là