TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
50 NĂM XÂY DỰNG VÀ PHÁT TRIỂN

1956 - 2006

ĐẶNG ĐÌNH THỐNG - LÊ DANH LIÊN

CƠ SỞ NĂNG LƯỢNG MỚI VÀ TÁI TẠO

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
50 NĂM XÂY DỰNG VÀ PHÁT TRIỂN
ĐẶNG ĐÌNH THỐNG, LÊ DANH LIÊN

CƠ SỞ
NĂNG LƯỢNG MỚI VÀ TÁI TẠO

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI

LỜI NÓI ĐẦU

Trong những năm gần đây các hoạt động nghiên cứu, ứng dụng Năng lượng mới và Tái tạo ở nước ta đã được triển khai khá mạnh mẽ và rộng khắp. Vì vậy, nhu cầu tài liệu học tập và tham khảo về lĩnh vực này trở nên ngày càng lớn. Trong lúc đó, do Năng lượng mới và Tái tạo là một ngành Khoa học Công nghệ mới, đặc biệt đối với Việt Nam, nên tài liệu rất khan hiếm và nếu có chủ yếu lại bằng tiếng nước ngoài. Từ thực tế đó, các cán bộ khoa học thuộc Trung tâm Nghiên cứu Năng lượng mới, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, là cơ quan đã có thực tế hoạt động nghiên cứu ứng dụng Năng lượng mới ở Việt Nam gần 20 năm nay, thấy cần thiết phải biên soạn bộ sách và tài liệu chuyên đề về khoa học công nghệ và ứng dụng Năng lượng mới và Tái tạo, trước hết là để phục vụ đào tạo, nghiên cứu khoa học công nghệ trong Trường và sau đó có thể là nguồn tham khảo tốt cho những ai quan tâm học tập, nghiên cứu lĩnh vực này. Cuốn ***"Cơ sở Năng lượng mới và Tái tạo"*** *là một trong các cuốn trong bộ sách và tài liệu nói trên.*

Cuốn sách được cấu trúc thành 8 chương.

Chương 1 trình bày về nguồn Năng lượng Mặt Trời và các đặc điểm của nó khi tới mặt đất.

Chương 2 trình bày các tính chất nhiệt của năng lượng Mặt Trời và các công nghệ ứng dụng nhiệt Mặt Trời.

Chương 3 trình bày công nghệ thu nhiệt Mặt Trời bằng phương pháp hội tụ và ứng dụng.

Chương 4 trình bày nguyên lý hoạt động và cấu tạo của pin Mặt Trời, các đặc trưng quang- điện của nó, cấu trúc của một số pin Mặt Trời khác nhau, công nghệ chế tạo pin, hệ thống điện Mặt Trời và ứng dụng.

Chương 5 nghiên cứu về cơ sở thuỷ khí động học ứng dụng.

Chương 6 và 7 trình bày các nguồn năng lượng và công nghệ thuỷ điện nhỏ, năng lượng gió và các ứng dụng.

Chương 8 trình bày các công nghệ sinh khối, khí sinh học, năng lượng địa nhiệt và năng lượng đại dương.

Các chương 1, 2, 3, 4 và 8 do PGS.TS. Đặng Đình Thống chịu trách nhiệm biên soạn. Các chương 5, 6 và 7 do PGS.TS. Lê Danh Liên biên soạn.

Cuốn sách được biên soạn với mục đích chính là làm tài liệu giảng dạy và học tập, nên tác giả chỉ tập trung vào những vấn đề có tính cơ bản nhất. Và do biên soạn lần đầu nên chắc chắn còn có một số khiếm khuyết. Các tác giả rất biết ơn và trân trọng các ý kiến phê bình và góp ý của các bạn đọc.

Các tác giả xin chân thành cảm ơn Viện Vật lý kỹ thuật và Trường Đại học Bách khoa Hà Nội đã khuyến khích động viên và tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tác giả trong quá trình biên soạn. Các tác giả cũng xin bày tỏ lòng biết ơn đối với sự ủng hộ rất hiệu quả của Vụ Khoa học Công nghệ, Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc cấp một phần kinh phí để các tác giả có thể biên soạn cuốn sách này.

Các tác giả xin cảm ơn ThS. Đỗ Thị Kim Thoa và CN. Trần Thị Hà đã giúp làm chế bản bản thảo cuốn sách.

Hà Nội, tháng 9 năm 2005

Các tác giả

Chương 1

BỨC XẠ MẶT TRỜI

1.1- BỨC XẠ MẶT TRỜI NGOÀI KHÍ QUYỂN TRÁI ĐẤT

Năng lượng mặt trời là một nguồn năng lượng vô cùng quan trọng đối với sự tồn tại và phát triển của sự sống trên Quả Đất. Tuy nhiên khi truyền tới Quả Đất bức xạ mặt trời phải đi qua lớp khí quyển làm thay đổi tính chất của nó. Vì vậy, trước hết ta hãy xem xét các tính chất của bức xạ mặt trời ngoài khí quyển Quả Đất.

Có thể nói Mặt Trời là một khối khí hình cầu có nhiệt độ rất cao. Năng lượng khổng lồ do Mặt Trời phát ra là kết quả của các phản ứng nhiệt hạt nhân khác nhau xảy ra liên tục và dữ dội trên hành tinh này. Đường kính Mặt Trời vào khoảng $1,39 .10^6$ km. Như đã biết, đường kính Quả Đất chỉ là $1,27 .10^4$ km. Khoảng cách trung bình giữa Mặt Trời và Quả Đất là $1,496. 10^8$ km. Mặc dù Mặt Trời rất lớn, nhưng do khoảng cách Mặt Trời – Quả Đất cũng lớn, nên từ mặt đất chúng ta nhìn Mặt Trời dưới một góc chỉ bằng 32'. Vì vậy các tia mặt trời khi tới mặt đất có thể xem là các tia song song. Nhiệt độ và do đó độ sáng của Mặt Trời biến đổi từ tâm của nó ra ngoài. Nhưng đối với các tính toán ứng dụng ở mặt đất người ta xem như độ sáng của Mặt Trời là đồng đều.

Các đo đạc cho thấy rằng mật độ dòng năng lượng từ Mặt Trời ở phía ngoài khí quyển Quả Đất là có thể xem như không đổi. Người ta gọi phần năng lượng mặt trời tới trên một đơn vị diện tích vuông góc với các tia mặt trời ở phía ngoài khí quyển quả đất là *hằng số Mặt Trời*, ký hiệu I_{SC}, nó có giá trị gần bằng 1353 W/m^2.

Quả Đất quay xung quanh Mặt Trời trên một quỹ đạo elip với độ lệnh tâm rất nhỏ và Mặt Trời ở trên một tiêu điểm. Vì vậy khoảng cách giữa Mặt Trời và Quả Đất trong một chu kỳ quay của nó, 365 ngày hay một năm, có thay đổi một ít. Do đó mật độ năng lượng Mặt Trời bên ngoài khí quyển Quả Đất cũng bị thay đổi một lượng nhỏ. Giá trị mật độ năng lượng Mặt Trời ở một ngày bất kỳ nào đó có thể tính theo công thức:

$$I'_{SC} = I_{SC}\left(1 + 0,033\cos\frac{360}{365}n\right) \qquad (1.1)$$

Ở đây n là số ngày trong năm (tính từ đầu năm, n =1 là ngày 01 tháng 01).

Phân bố phổ của bức xạ Mặt Trời bên ngoài khí quyển Quả Đất được cho trong bảng 1.1 đối với hằng số mặt trời I_{sc}= 1353 W/m^2.

Như thấy trong bảng 1.1, giá trị phổ lúc đầu tăng lên rất nhanh theo bước sóng λ, đạt cực đại ở λ = 0,48μm và sau đó giảm dần đến 0. Khoảng 99% của bức xạ Mặt Trời nằm trong giải phổ từ 0,2μm đến 4μm. Hình 1.1 biểu diễn sự phân bố phổ của bức xạ Mặt Trời được cho trong bảng 1.1.

Bảng 1.1: **Phân bố phổ bức xạ mặt trời bên ngoài khí quyển Quả Đất**

λ (μm)	e_λ (W/m^2. μm)	D_λ (*)	λ (μm)	e_λ (W/m^2. μm)	D_λ (*)
0,2	10,7	0,0081	0,9	891	63,37
0,3	514	1,21	1,0	748	69,49
0,38	1120	7,00	2,0	103	93,49
0,4	1429	8,73	3,0	31	97,83
0,48	2074	19,68	4,0	9,5	99,06
0,5	1942	22,06	5,0	3,8	99,51
0,6	1666	35,68	6,0	1,8	99,72
0,6	1369	46,88	7,0	1,00	99,82
0,78	1159	54,35	8,0	0,59	99,88
0,8	1109	56,02	10,0	0,25	99,94

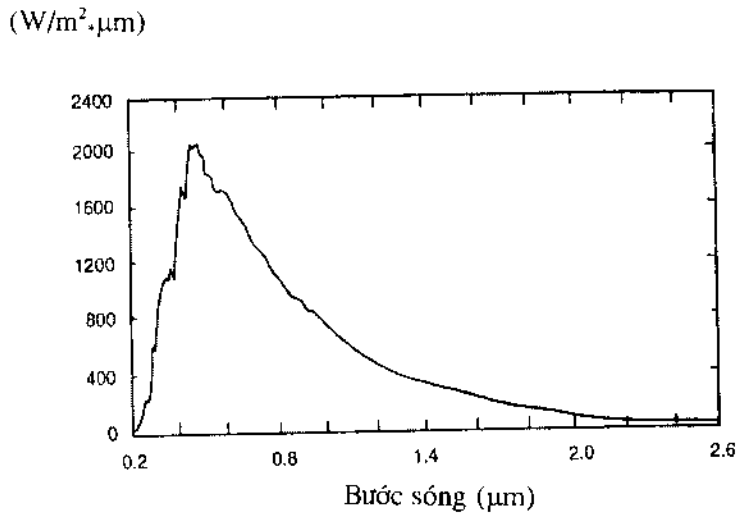
Ghi chú: (*) Đại lượng $D_{\lambda+}$ được xác định theo biểu thức sau:

$$D_\lambda = \left\{ \left[\int_0^\lambda e_\lambda d_\lambda \right] / \left[\int_0^\infty e_\lambda d_\lambda \right] \right\} \times 100 = \left\{ \left[\int_0^\lambda e_\lambda d\lambda \right] / I_{sc} \right\} \times 100$$

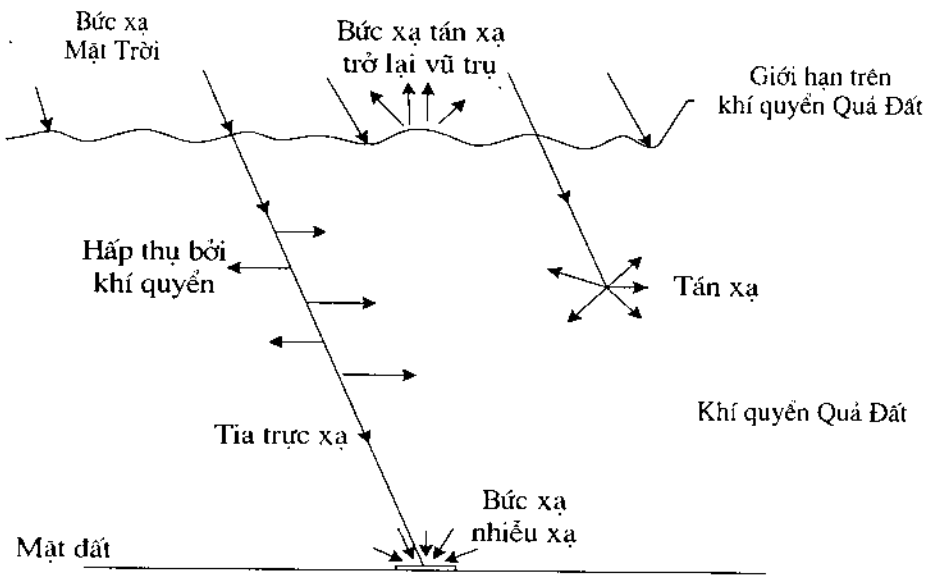
Ở ngoài khí quyển Quả Đất phổ bức xạ mặt trời gần giống với bức xạ của một vật đen tuyệt đối theo định luật Stefan- Boltzmann ở nhiệt độ 5762K.

1.2- BỨC XẠ MẶT TRỜI Ở BỀ MẶT TRÁI ĐẤT

Bức xạ Mặt Trời nhận được ở bề mặt Quả Đất bị suy giảm đáng kể so với bức xạ Mặt Trời ngoài vũ trụ do các hiện tượng hấp thụ, tán xạ khi tia Mặt Trời đi qua lớp khí quyển Quả Đất (hình 1.2). Sự hấp thụ trước hết là do sự có mặt của phân tử ozon O_3 và hơi nước H_2O trong khí quyển. Ngoài ra còn do sự hấp thụ cuả các phân tử khí khác (như cacbonic CO_2, oxit nitơ NO_2, oxit cacbon CO, oxy O_2, và metan CH_4,...) và các hạt bụi. Mặt khác khi tia Mặt Trời gặp các phân tử khí và các hạt bụi nói trên nó còn bị tán xạ về mọi phía, trong đó có một phần đáng kể năng lượng đi trở lại vũ trụ mà không đến được mặt đất.



Hình 1.1- Phổ bức xạ Mặt Trời ở ngoài khí quyển Quả Đất.



Hình 1.2- Sự hấp thụ và tán xạ của tia Mặt Trời khi qua lớp khí quyển Quả Đất.

Khí quyển ở một địa phương nào đó trên bề mặt Quả Đất thường được phân thành hai loại: khí quyển có mây mù và khí quyển trong sáng không có mây mù. Cơ chế hấp thụ và tán xạ là như nhau đối với hai loại khí quyển nói trên. Tuy nhiên cường độ hấp thụ hay tán xạ đối với loại bầu khí quyển mây mù mạnh hơn so với khí quyển trong sáng.

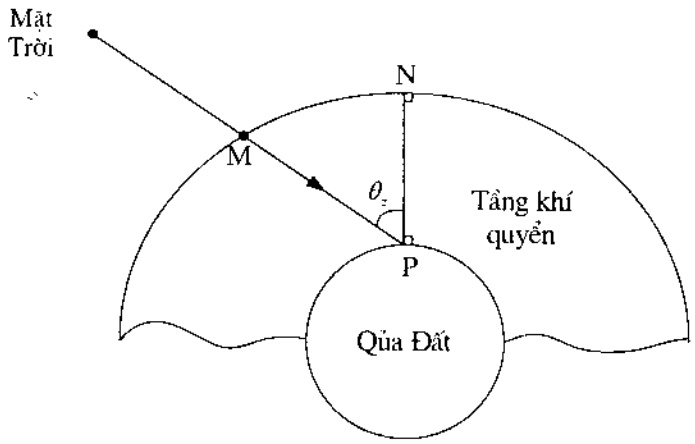
Những ngày trong sáng hoàn toàn không có mây mù cường độ bức xạ Mặt Trời tới bề mặt Quả Đất có giá trị lớn nhất. Thành phần các tia bức xạ Mặt Trời đi thẳng từ Mặt Trời tới mặt

đất mà không bị thay đổi hướng khi qua lớp khí quyển được gọi là thành phần *trực xạ*. Còn đối với các tia bức xạ Mặt Trời đến điểm quan sát trên mặt đất từ mọi phía dưới bầu trời được gọi là thành phần *nhiễu xạ*. Thành phần nhiễu xạ được gây ra do hiện tượng tán xạ của tia Mặt Trời khi gặp các phân tử khí và các loại hạt bụi trong bầu khí quyển cũng như các vật cản khác. Tổng của các thành phần trực xạ và nhiễu xạ được gọi là *Tổng xạ*.

Nói chung, cường độ của của các tia nhiễu xạ đến từ các hướng khác nhau trong bầu trời là không bằng nhau. Tính chất đó được gọi là tính chất *bất đẳng hướng* của bức xạ nhiễu xạ. Tuy nhiên khi tính toán về bức xạ Mặt Trời trên mặt đất người ta thường bỏ qua tính bất đẳng hướng này mà xem bức xạ nhiễu xạ là đẳng hướng.

Một đại lượng quan trọng khác đặc trưng cho độ suy giảm của tia Mặt Trời khi qua lớp khí quyển Quả Đất là *airmass* (AM). Nó được đo bằng tỷ số giữa độ dài của tia Mặt Trời đi qua lớp khí quyển Quả Đất và độ dày của lớp khí quyển (hình 1.3), tức là:

$$AM = \frac{MP}{NP} \tag{1.2}$$



Hình1.3- Xác định airmass AM.

Góc giữa pháp tuyến của mặt đất tại điểm quan sát và tia Mặt Trời được gọi là góc Zenith θ_z. Giá trị AM phụ thuộc vào góc θ_z. Airmass "không" AM0 tương ứng với bức xạ Mặt Trời ngoài vũ trụ; AM1 ứng với góc $\theta_z = 0$, còn AM2 ứng với góc $\theta_z = 60°$.

Có nhiều nghiên cứu về cơ chế hấp thụ và tán xạ và xác định hệ số suy giảm bức xạ Mặt Trời trên bề mặt Quả Đất liên quan đến các thông số thời tiết khí hậu. Tuy nhiên, nói chung là không thể dự đoán chính xác được sự thay đổi của khí hậu, thời tiết và do đó cũng không thể dự đoán chính xác được bức xạ Mặt Trời trên bề mặt Quả Đất ở một địa phương nào đó và trong khoảng thời gian nào đó. Vì vậy, để thiết kế, lắp đặt các thiết bị năng lượng Mặt Trời người ta thường phải lựa chọn một hay một vài phương pháp sau:

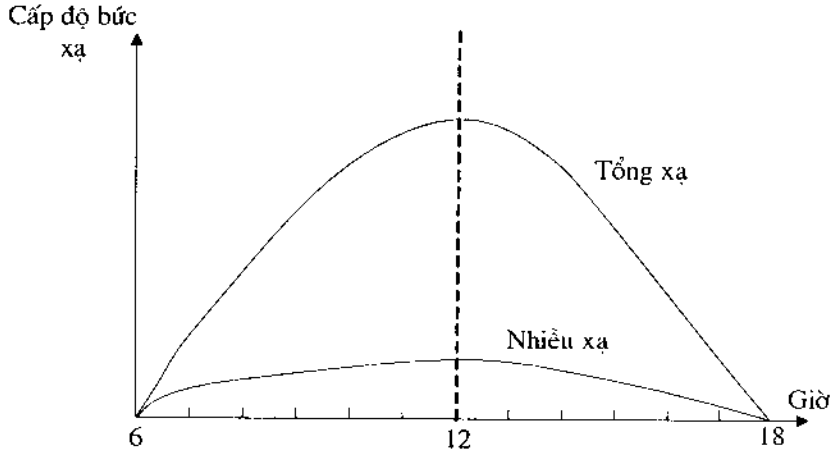
1. Tiến hành đo đạc thực tế trong một khoảng thời gian đủ dài ở địa phương sẽ lắp đặt thiết bị năng lượng Mặt Trời ;

2. Sử dụng các số liệu có thể ở một số địa phương khác mà ở đó thời tiết, khí hậu là gần giống như ở địa phương lắp đặt thiết bị năng lượng Mặt Trời;

3. Sử dụng các công thức dự báo kinh nghiệm liên kết các giá trị bức xạ Mặt Trời với các thông số khí tượng khác mà các giá trị này đã biết ở địa phương quan tâm.

1.3- SỐ LIỆU VỀ BỨC XẠ MẶT TRỜI

Phần lớn các số liệu về bức xạ Mặt Trời được đo ở trên mặt nằm ngang ở các Trạm Khí Tượng Thuỷ Văn. Ví dụ hình 1.4 trình bày các đường cong ghi được trong một ngày trong sáng đối với các thành phần tổng xạ và nhiễu xạ.



Hình 1.4- Các đường cong ghi các thành phần tổng xạ và nhiễu xạ trong 1 ngày trong sáng.

Qua hình vẽ này ta thấy rằng, sự biến đổi của bức xạ Mặt Trời là khá trơn tru và có một cực đại lân cận giữa trưa. Đối với các ngày mây mù các đường cong trên sẽ biến đổi phức tạp với rất nhiều cực đại và cực tiểu phụ.

Mật độ năng lượng bức xạ Mặt Trời thường được đo bằng cal/cm^2 hay J/cm^2. Đối với việc thiết kế các hệ thống thiết bị năng lượng Mặt Trời người ta quan tâm trước hết là các giá trị trung bình của bức xạ Mặt Trời ở địa phương lắp đặt thiết bị. Thông thường người ta tính giá trị trung bình ngày của bức xạ Mặt Trời đối với các tháng khác nhau trong một năm.

Để tham khảo các số liệu bức xạ Mặt Trời ở các địa phương khác nhau trong một nước hay trong một vùng địa lý nào đấy người ta thường xây dựng các sổ tay tra cứu hay các bản đồ bức xạ Mặt Trời. Có hai đại lượng chính để đánh giá bức xạ Mặt Trời ở một địa phương nào đó, đó là mật độ năng lượng Mặt Trời trung bình ngày và số giờ nắng trung bình hàng tháng trong năm và cả năm.

Bảng 1.2 cho số liệu năng lượng Mặt Trời trung bình ngày ở các địa phương khác nhau ở Việt Nam.

***Bảng 1.2-* Lượng tổng xạ bức xạ mặt trời trung bình ngày của các tháng trong năm ở một số địa phương Việt Nam, (đơn vị: MJ/m².ngày).**

TT	Địa phương	Tổng xạ Bức xạ Mặt Trời của các tháng trong năm (đơn vị: MJ/m².ngày)					
		1 7	2 8	3 9	4 10	5 11	6 12
1	Cao Bằng	8,21	8,72	10,43	12,70	16,81	17,56
		18,81	19,11	17,60	13,57	11,27	9,37
2	Móng Cái	18,81	19,11	17,60	13,57	11,27	9,37
		17,56	18,23	16,10	15,75	12,91	10,35
3	Sơn La	11,23	12,65	14,45	16,84	17,89	17,47
		11,23	12,65	14,45	16,84	17,89	17,47
4	Phú Hộ	8,04	8,09	8,96	12,15	17,73	18,23
		18,39	17,89	16,22	14,41	11,65	10,01
5	Láng (Hà Nội)	8,76	8,63	9,09	12,44	18,94	19,11
		20,11	18,23	17,22	15,04	12,40	10,66
6	Yên Định	9,72	9,55	10,18	13,53	20,66	20,32
		20,87	18,96	18,44	15,71	12,19	11,35
7	Vinh	8,88	8,13	9,34	14,50	20,03	19,78
		21,79	16,39	15,92	13,16	10,22	9,01
8	Đà Nẵng	12,44	14,87	18,02	20,28	22,17	21,04
		22,84	20,78	17,93	14,29	10,43	8,47
9	Cần Thơ	17,51	20,07	20,95	20,88	16,72	15,00
		16,68	15,29	16,38	15,54	15,25	16,38
10	Đà Lạt	16,68	15,29	16,38	15,54	15,25	16,38
		18,94	16,51	15,00	14,87	15,75	10,07

1.4- HÌNH HỌC BỨC XẠ MẶT TRỜI

Để xác định năng lượng trực xạ tới trên một mặt định hướng bất kỳ đặt trên mặt đất, người ta cần phải xác định giá trị của thành phần năng lượng trực xạ tới bề mặt trên theo phương vuông góc với nó.

Nếu gọi 0 là góc giữa tia tới có cường độ I_{bn} và pháp tuyến của bề mặt quan sát (góc tới), thì thành phần tới của tia vuông góc với bề mặt sẽ là $I_{bn}.\cos 0$. Góc tới θ phụ thuộc vào nhiều thông số khác như vĩ độ φ của địa phương quan sát, góc lệch δ giữa tia Mặt Trời và mặt phẳng

xích đạo, góc Azimuth γ của mặt quan sát, góc giờ của Mặt Trời ω và góc nghiêng β của mặt quan sát so với mặt nằm ngang.

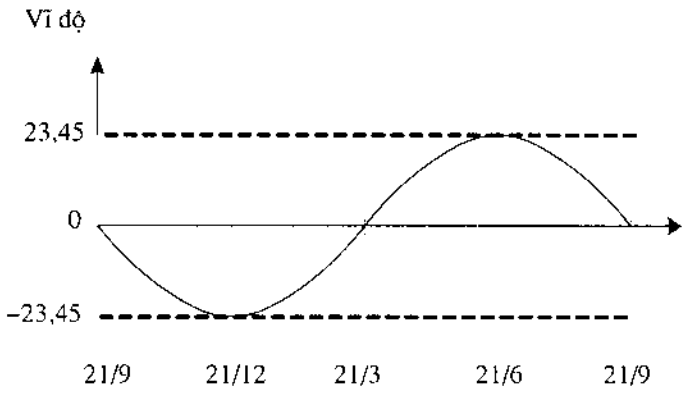
Trước hết ta hãy định nghĩa các góc nói trên.

a- Góc vĩ tuyến φ (vĩ độ) của một địa phương nào đó là góc tạo bởi bán kính của Quả Đất đi qua địa phương đó và hình chiếu của nó trên mặt phẳng xích đạo của Quả Đất. Vĩ độ của các địa phương trên mặt đất biến thiên từ 0 (đường xích đạo) đến +90° (điểm Cực Bắc) hay –90° (điểm Cực Nam).

b- Góc lệch δ là góc giữa đường nối các tâm Mặt Trời và Quả Đất và hình chiếu của nó trên mặt phẳng xích đạo. Nó xuất hiện do Quả Đất quay xunh quanh một trục riêng của nó, trục Bắc- Nam, tạo với pháp tuyến của mặt phẳng quỹ đạo của Quả Đất quay xung quanh Mặt Trời một góc 23,45°. Góc δ sẽ có giá trị + 23,45° vào ngày Hạ Chí 21/ 6 và – 23,45° vào ngày Đông Chí 21/12. Góc lệch δ ở một ngày bất kỳ có thể xác định được theo công thức Cooper sau đây:

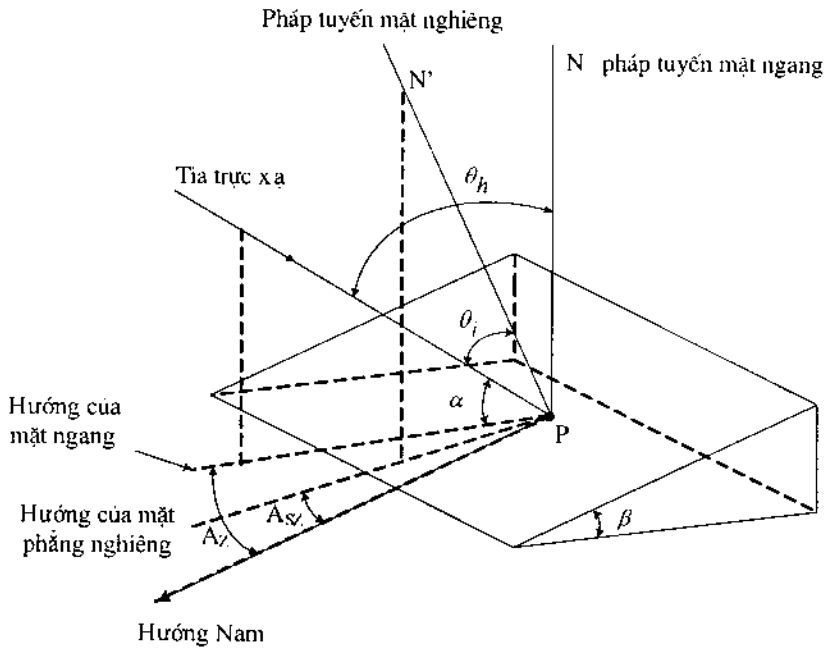
$$\delta \text{ (đo bằng độ)} = 23{,}45 \sin\left[\frac{360}{365}(284+n)\right] \qquad (1.4)$$

Trong đó n là số ngày của năm. Ví dụ vào ngày 10/1 thì n =10. Hình 1.5 cho thấy sự biến thiên của góc lệch δ trong một năm.



Hình 1.5- Sự biến đổi của góc lệch trong thời gian một chu kỳ quay của Quả Đất xung quanh Mặt Trời.

c- Góc azimuth γ là góc nằm trong mặt phẳng nằm ngang giữa hướng Nam và hình chiếu của pháp tuyến của mặt quan sát trên mặt nằm ngang. Góc γ có thể biến đổi từ – 180° đến + 180°. Góc γ nhận dấu (+) nếu hình chiếu pháp tuyến của mặt quan sát nằm ở bên phải hướng Nam và nhận dấu (–) nếu hình chiếu pháp tuyến trên mặt ngang nằm ở bên trái hướng Nam. Trên hình 1.6, góc γ được ký hiệu là góc Asz.



Hình 1.6- Định nghĩa các góc định hướng của một mặt thu năng lượng Mặt Trời.

d- Góc giờ ω là góc xác định vị trí Mặt Trời trên bầu trời ở thời điểm quan sát. Nó là số đo góc của thời gian và tương đương 15° trong 1 giờ. Nó cũng biến đổi từ – 180° đến + 180°. Người ta quy ước việc đo góc ω từ giữa trưa, tức là tại 12 giờ trưa góc giờ ω = 0, dựa trên thời gian thực địa phương (Local Apparent Time, LAT). Nó có giá trị dương (+) vào buổi sáng và có giá trị (–) vào buổi chiều.

e- Góc nghiêng β là góc giữa mặt quan sát và mặt phẳng ngang. Nó cũng biến đổi từ 0 đến 180°.

Ta có thể thấy rằng góc tới θ phụ thuộc vào các góc nói trên theo quan hệ sau:

$$\cos\theta = \sin\varphi\,(\sin\delta\cos\beta + \cos\delta\cos\gamma\cos\omega\sin\beta) +$$
$$\cos\varphi\,(\cos\delta\cos\omega\cos\beta - \sin\delta\cos\gamma\sin\beta) + \cos\delta\sin\gamma\sin\omega\sin\beta \qquad (1.5)$$

Các trường hợp giới hạn:

- Với mặt thẳng đứng, β = 90°, khi đó từ (1.5) ta có:

$$\cos\theta = \sin\varphi\cos\delta\cos\gamma\cos\omega - \cos\varphi\sin\delta\cos\gamma + \cos\delta\sin\gamma\sin\omega \qquad (1.6)$$

- Với mặt nằm ngang, β= 0

$$\cos\theta = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega \qquad (1.7)$$

Trong trường hợp $\theta = \theta_z$, thì từ các biểu thức (1.5), (1.6) và (1.7) người ta có thể xác định được góc Zenith phụ thuộc vào thời gian và vị trí trên mặt đất.

- Khi mặt quan sát hướng chính Nam thì $\gamma = 0$ và

$$\cos\theta = \sin\varphi\,(\sin\delta\cos\beta + \cos\delta\cos\omega\sin\beta) + \cos\varphi\,(\cos\delta\cos\omega\cos\beta - \sin\delta\sin\beta)$$

$$= \sin\delta\sin(\varphi - \beta) + \cos\delta\cos\omega\cos(\varphi - \beta) \qquad (1.8)$$

- Đối với mặt thẳng góc ($\beta = 90^0$) và hướng Nam ($\gamma = 0$)

$$\cos\theta = \sin\varphi\cos\delta\cos\omega - \cos\varphi\sin\delta \qquad (1.9)$$

Góc tới θ cũng có thể tính qua góc Zenith θ_z, góc nghiêng β, góc Azimuth γ và góc Azimuth Mặt Trời γ_s nhờ công thức:

$$\cos\theta = \cos\theta_z\cos\beta + \sin\theta_z\sin\beta\cos(\gamma_s - \gamma) \qquad (1.10)$$

ở đây góc Azimuth Mặt Trời γ_s là góc trong mặt nằm ngang giữa hướng Nam và hình chiếu của tia Mặt Trời trên mặt nằm ngang. Để có phương trình (1.10), trước hết người ta cần phải tính θ_z và γ_s. θ_z thu được từ phương trình (1.7), trong khi γ_s thu được từ biểu thức:

$$\cos\gamma_s = (\cos\theta_z\sin\varphi - \sin\delta)/\sin\theta_z\cos\delta \qquad (1.11)$$

Ví dụ: Tính góc tạo bởi tia trực xạ và pháp tuyến của một mặt bộ thu phẳng vào ngày 1/12 lúc 9 giờ (giờ địa phương). Bộ thu đặt ở địa phương có vĩ độ $\varphi = 28^0 35'$ và nghiêng một góc $\beta = 36^0$ so với mặt nằm ngang và hướng Nam.

Giải: Trong trường hợp này $\gamma = 0$. Ngày 1/12 cho n = 335 và từ phương trình (1.4) ta có:

$$\delta = 23{,}45\sin\left[\frac{360}{365}(284 + 335)\right] = -22{,}11^0$$

Lúc 9 giờ, $\omega = 45^0$ (= 3 giờ × 15^0). Thay các giá trị này vào phương trình (1.8) ta có:

$$\cos\theta = \sin(-22{,}11^0)\sin(28{,}58^0 - 36^0) + \cos(-22{,}11^0)\cos 45^0.\cos(28{,}58^0) = 0{,}6982$$

Tính được $\theta = 45{,}7^0$

Tính θ_z: Từ phương trình (1.7), đặt $\theta = \theta_z$ ta có:

$$\cos\theta_z = \sin 28{,}58^0\sin(-22{,}11^0) + \cos(28{,}58^0)\cos(-22{,}11^0)\cos 45^0$$

$$= 0{,}39522 \text{ ta có } \theta_z = 66{,}72^0$$

áp dụng phương trình (1.11) ta có:

$$\cos\gamma_s = [\cos 66{,}72^0\sin 28{,}58^0 - \sin(-22{,}11^0)] / \sin 66{,}72^0\cos 28{,}58^0$$

$$= 0{,}7010 \rightarrow \gamma_s = 45{,}49^0$$

Thay vào phương trình (1.10) ta được:

$$\cos\theta = \cos 66{,}72^o \cos 36^o + \sin 66{,}72^o . \sin 36^o . \cos(45{,}49^o - 0^o)$$

$$= 0{,}6982 \rightarrow \quad \theta = 45{,}7^o$$

f- Sự chuyển động của Mặt Trời trên bầu trời

Ta hãy xem xét sự chuyển động thực của Mặt Trời khi nhìn từ dưới mặt đất lên. Đối với một người quan sát trên mặt đất, trong một ngày bất kỳ nào đó, Mặt Trời "mọc" ở phía Đông, chuyển động trong mặt phẳng tạo một góc (90°- φ) đối với mặt nằm ngang và cuối ngày "lặn" ở phía Tây. Như vậy, các mặt phẳng thực trong đó Mặt Trời chuyển động cắt mặt ngang theo một đường thẳng Đông – Tây. Tuy nhiên do hiệu ứng góc lệch δ, nên các giao tuyến Đông – Tây không trùng với đường Đông – Tây đi qua người quan sát đứng ở điểm O (hình 1.7). Đối với một địa phương ở Bắc Bán Cầu đường đó sẽ ở phía Nam vào mùa Đông (góc δ âm) và ở phía Bắc vào mùa Hè (góc δ dương) và trùng với đường Đông – Tây đi qua người quan sát trong 2 ngày Xuân Phân (21/ 3) và Thu Phân (21/ 9), trong các ngày đó $\delta = 0$.

g- Mặt Trời mọc, Mặt Trời lặn và độ dài ngày

Góc giờ tương ứng với thời điểm Mặt Trời mọc hoặc lặn ω_s trên mặt nằm ngang có thể tính từ phương trình (1.7), nếu thay thế góc $\theta_z = 90^o$. Khi đó ta có

$$\cos\omega_s = -\,tg\varphi\, tg\delta \rightarrow$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-tg\varphi\, tg\delta) \qquad (1.12)$$

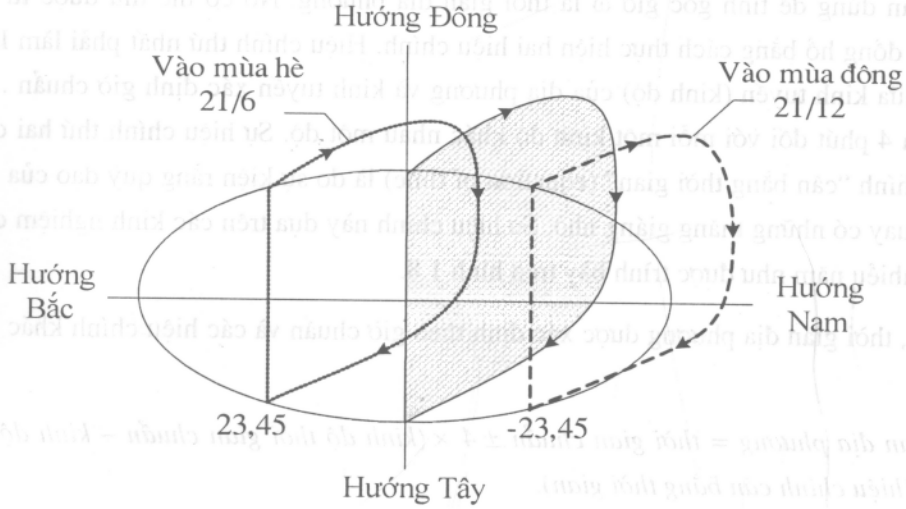
Phương trình (1.12), tuỳ vào dấu của ω_s, mà ta có giá trị góc giờ lúc Mặt Trời mọc (dấu dương) hay lặn (dấu âm). Vì góc giờ 15° tương đương với thời gian 1 giờ, nên độ dài ngày tính ra giờ sẽ là:

$$S_{max} = (2/15)\cos^{-1}(-tg\varphi\, tg\delta) \qquad (1.13)$$

Góc giờ lúc Mặt Trời mọc hoặc lặn do người quan sát ở trên mặt nghiêng hướng Nam ($\gamma = 0$) cũng sẽ được cho bởi công thức (1.12) nếu ngày quan sát ở trong khoảng 22/ 9 và 21/ 3 và địa phương quan sát ở Bắc Bán Cầu. Sở dĩ như vậy là vì trong khoảng thời gian này góc lệch δ là âm và mặt phẳng chuyển động của Mặt Trời cắt mặt nằm ngang theo một đường Đông – Tây nằm phía Nam của đường Đông – Tây đi qua người quan sát trên mặt nghiêng. Tuy nhiên, nếu ngày quan sát nằm trong khoảng 21/ 3 và 22/ 9 thì góc giờ lúc Mặt Trời mọc hoặc lặn (ω_{sl}) sẽ nhỏ hơn về giá trị so với giá trị cho trong phương trình (1.12) và sẽ thu được bằng cách thay $\theta = 90^o$ vào phương trình (1.8). Khi đó ta có:

$$\omega_{sl} = \cos^{-1}\{-tg(\varphi - \beta)tg\delta \qquad (1.14)$$

Như vậy, giá trị của ω_{st} đối với một mặt nghiêng hướng Nam ($\gamma = 0$) ở Bắc Bán Cầu là nhỏ hơn giá trị được cho theo phương trình (1.12) và (1.14).



Hình 1.7- "Quĩ đạo" của chuyển động của Mặt Trời trên bầu trời ở các ngày khác nhau.

Nói chung, đối với một mặt phẳng định hướng không đối xứng, các góc giờ lúc Mặt Trời mọc hoặc lặn sẽ không bằng nhau về giá trị do có dấu ngược nhau. Cách tính chung là tính ω_{st} bằng cách thay $\theta = 90^o$ vào phương trình (1.5) và sau đó dùng phương trình (1.12). Phụ thuộc vào ngày trong năm và sự định hướng của bề mặt mà sự hiệu chính phù hợp sẽ cần được thực hiện bằng cách lựa chọn các giá trị chính xác từ các kết quả giải các phương trình nói trên.

Ví dụ: Hãy tính góc giờ lúc Mặt Trời mọc và lặn vào ngày 21/ 6 và 21/12 đối với một mặt nghiêng một góc 10° và hướng Nam (γ=0). Mặt này được đặt ở địa phương có vĩ độ 19^o07 (vĩ độ Bắc).

Giải: Đối với ngày 21/ 6, từ phương trình (1.14) ta có:

$$\omega_{st} = \cos^{-1}[-tg(19,12^o - 10^o)tg23,45^o] = \pm 94^o$$

đối với ngày 21/12, dùng phương trình (1.12) ta có:

$$\omega_{st} = \cos^{-1}[-tg19,12^o.tg(-23,45^o)] = \pm 81,4^o$$

(Dấu + ứng với lúc Mặt Trời mọc và dấu – ứng với lúc Mặt Trời lặn).

h- Thời gian địa phương

Để tính thời gian cho phù hợp với vị trí của Mặt Trời trên bầu trời, mỗi khu vực địa phương khác nhau trên mặt đất có một giờ hay thời gian riêng. Ví dụ lúc 12 giờ trưa ở Hà Nội

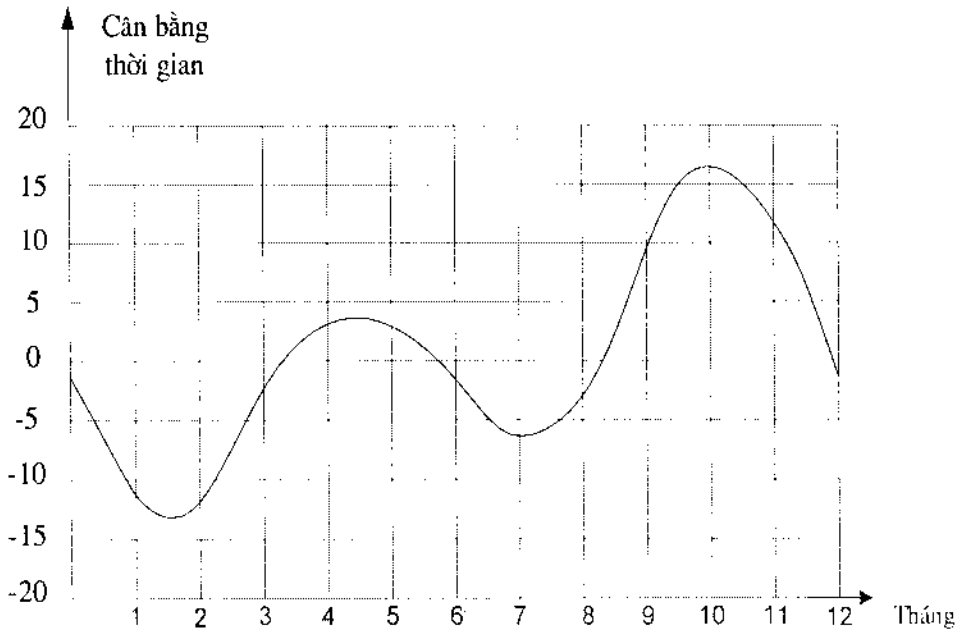
thì ở Luân Đôn nước Anh đang là khoảng 6 giờ sáng. Thời gian hay giờ sử dụng ở địa phương được gọi là thời gian hay giờ địa phương, nó khác với giờ chuẩn quốc tế.

Thời gian dùng để tính góc giờ ω là thời gian địa phương. Nó có thể thu được từ thời gian chuẩn trên đồng hồ bằng cách thực hiện hai hiệu chính. Hiệu chính thứ nhất phải làm là do sự khác nhau giữa kinh tuyến (kinh độ) của địa phương và kinh tuyến xác định giờ chuẩn . Giá trị hiệu chính là 4 phút đối với mỗi một kinh độ khác nhau một độ. Sự hiệu chính thứ hai được gọi là sự hiệu chính "cân bằng thời gian" (equation of time) là do sự kiện rằng quỹ đạo của Quả Đất và tốc độ quay có những thăng giáng nhỏ. Sự hiệu chính này dựa trên các kinh nghiệm quan sát được trong nhiều năm như được trình bày trên hình 1.8.

Tóm lại, thời gian địa phương được xác định theo giờ chuẩn và các hiệu chính khác theo qui tắc sau đây:

Thời gian địa phương = thời gian chuẩn ± 4 × (kinh độ thời gian chuẩn – kinh độ của địa phương) + (hiệu chính cân bằng thời gian).

Dấu (–) trong hiệu chính thứ nhất là áp dụng cho Đông Bán Cầu, còn dấu (+) áp dụng cho Tây Bán Cầu.



Hình 1.8- Hiệu chính cân bằng thời gian (trục đứng được chia theo góc phút).

Ví dụ: Hãy xác định thời gian địa phương tương ứng với giờ chuẩn là 14,30 ở địa phương có vĩ độ φ =19°07N và kinh độ 72°51 E vào ngày 1/ 7. Thời gian chuẩn lấy ở kinh độ 82,50°E

Giải: từ hình vẽ (1.8) sự hiệu chính cân bằng thời gian vào ngày 1/7 là (– 4) phút. Vì vậy:

Thời gian địa phương = 14,30 – 4(82,50°– 72,85°) phút + (– 4 phút)

= 14,30 giờ – 38,6 phút – 4 phút = 13,47 giờ.

1.5- BỨC XẠ MẶT TRỜI TRÊN MẶT PHẲNG NGHIÊNG

Như đã nói ở phần trên, các số liệu về bức xạ Mặt Trời thông thường là các số liệu đo đạc trên mặt nằm ngang. Nhưng đa số các thiết bị thu năng lượng Mặt Trời được đặt nghiêng một góc β nào đó so với mặt nằm ngang. Vì vậy cần thiết phải tính toán dòng năng lượng tới trên mặt nghiêng từ các số liệu thu được trên mặt nằm ngang.

1.5.1- Năng lượng tia bức xạ trực xạ

Tỷ số của dòng năng lượng trực xạ tới trên mặt nghiêng và dòng năng lượng trực xạ tới trên mặt ngang được gọi là *"Hệ số nghiêng"* đối với tia trực xạ, được ký hiệu bằng r_b.

Đối với trường hợp mặt nghiêng hướng Nam (γ = 0), ta có:

$$\cos\theta = \sin\delta \sin(\varphi - \beta) + \cos\delta\, \omega \cos(\varphi - \beta)$$

Đối với mặt nằm ngang (β = 0), hướng Nam, $\theta = \theta_z$ nên:

$$\cos\theta_z = \sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\omega \cos\varphi$$

Do đó: $$r_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} = \frac{\sin\delta \sin(\varphi - \beta)}{\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega} \qquad (1.15)$$

Bằng cách tính tương tự ta có thể xác định được biểu thức của r_b đối với trường hợp mặt nghiêng không hướng Nam (γ ≠ 0).

1.5.2- Bức xạ tia nhiễu xạ

Hệ số nghiêng r_d đối với bức xạ nhiễu xạ là tỷ số của dòng năng lượng nhiễu xạ tới trên mặt nghiêng và tới trên mặt ngang. Giá trị r_d này phụ thuộc vào sự phân bố bức xạ nhiễu xạ trên bầu trời và trên phần bầu trời mà mặt nghiêng thu bức xạ. Nếu giả thiết bức xạ nhiễu xạ là đẳng hướng, ta có thừa số nghiêng r_d xác định bằng công thức:

$$r_d = \frac{1}{2}(1 + \cos\beta) \qquad (1.16)$$

ở đây β là góc nghiêng của mặt nghiêng đối với mặt ngang.

1.5.3- Bức xạ phản xạ

Bức xạ phản xạ là thành phần bức xạ tới mặt quan sát do phản xạ *từ mặt nền xung quanh* mặt quan sát. Giả thiết bức xạ phản xạ cũng đẳng hướng đối với mọi điểm xunh quanh mặt quan sát và hệ số phản xạ bằng ρ, thì *hệ số nghiêng đối với bức xạ phản xạ* sẽ là:

$$r_r = \rho\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right) \tag{1.17}$$

1.5.4- Năng lượng Mặt Trời tới trên mặt nghiêng

Gọi I_T là tổng các thành phần bức xạ tới trên mặt nghiêng, thì:

$$I_T = I_b r_b + I_d r_d + (I_b + I_d)\, r_r \tag{1.18}$$

Trong đó: I_b, I_d là các mật độ dòng năng lượng Mặt Trời ứng với các thành phần trực xạ và nhiễu xạ đo được trên mặt nằm ngang.

Cần chú ý rằng phương trình (1.15) chỉ đúng đối với mặt hướng Nam (γ = 0), còn các phương trình (1.16) và (1.17) là đúng đối mặt nghiêng bất kỳ có góc nghiêng β. Gọi I_g là tổng xạ trên mặt ngang, $I_g = I_b + I_d$, thì từ (1.18), ta có:

$$\frac{I_T}{I_g} = \left(1 - \frac{I_d}{I_g}\right) r_b + \frac{I_d}{I_g} r_d + r_r \tag{1.19}$$

Khi ứng dụng phương trình (1.18) ta cần phải biết hệ số phản xạ ρ, mà trong nhiều trường hợp là không đo được. Vì vậy người ta thường thừa nhận giá trị ρ = 0,2 để tính toán. May mắn là thành phần phản xạ chiếm tỷ lệ khá nhỏ trong tổng I_T, nên sai số không đáng kể.

Ví dụ: Tính bức xạ trung bình tháng trong 1 giờ tới trên mặt bộ thu hướng Nam (γ = 0) nghiêng một góc β =15° so với mặt ngang với các điều kiện sau:

- Nơi lắp đặt có vĩ độ φ = 13°N

- Tháng tính toán: tháng 10; Ngày 15/10

- Thời gian: Từ 11:00 ÷ 12:00 (giờ địa phương)

- Tổng xạ trung bình giờ trên mặt ngang: $\overline{I_g} = 2408 \dfrac{kJ}{m^2.h}$

- Nhiễu xạ trung bình giờ: $\overline{I_d} = 1073 \dfrac{kJ}{m^2.h}$

- Hệ số phản xạ mặt nền: ρ = 0,2

Giải:

Vào ngày 15/10 thì n =288, từ phương trình (1.4) ta có: $\delta = -9{,}599^o$

Thay giá trị δ vào (1.15) tính được:

$$r_b = \frac{\sin(-9{,}6^o)\sin(13{,}00^o - 15^o) + \cos 9{,}60^o \cos 7{,}5^o \cos(13{,}00^o - 15^o)}{\sin 13{,}^o \sin(-9{,}60^o) + \cos 13^o + \cos(-9{,}60^o)\cos 7{,}5^o} = 1{,}12$$

Từ các phương trình (1.16) và (1.17) tính được:

$$r_d = (1 + \cos 15^o)/\,2 = 0{,}983$$

$$r_r = 0{,}2\,(1 - \cos 15^o)/\,2 = 0{,}0034$$

ở đây $\overline{r_b} = r_b$; $\overline{r_d} = r_d$ và $\overline{r_r} = r_r$ và đặt vào (1.19) có:

$$\frac{\overline{I_T}}{I_g} = \left(1 - \frac{1073}{2408}\right) x1{,}12 + \frac{1073}{2408}\, x0{,}983 + 0{,}0034$$

$$\rightarrow \overline{I_T} = T_g x1{,}0624 = 2558\, kJ/m^2.h$$

Chương 2

NHIỆT MẶT TRỜI

2.1- TƯƠNG TÁC GIỮA BỨC XẠ MẶT TRỜI VÀ CHẤT

2.1.1- Định nghĩa các hệ số tương tác giữa bức xạ Mặt Trời với chất

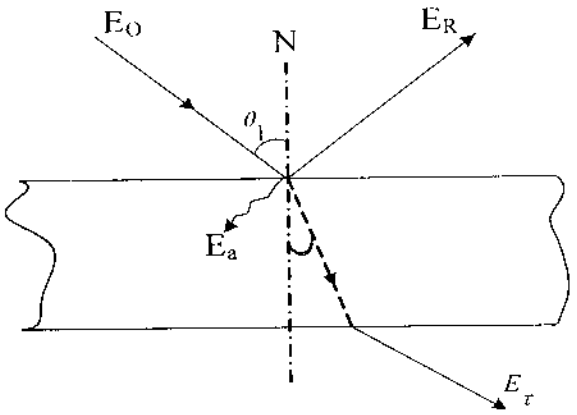
Giả sử có một tia bức xạ Mặt Trời có cường độ E_o tới một vật có chiều dày không quá lớn như hình 2.1.

Khi tới bề mặt phân cách phía trên giữa vật và môi trường tia sáng E_o bị tách thành các tia thành phần sau:

- Tia phản xạ có cường độ E_R phản xạ trở lại môi trường ;

- Tia đi qua vật và ló ra ngoài được gọi là tia truyền qua, có cường độ E_τ;

- Một phần tia bị vật hấp thụ, có cường độ E_a.



Hình 2.1- Các hiện tượng phản xạ, truyền qua, hấp thụ khi tia bức xạ tương tác với chất.

Theo định luật bảo toàn năng lượng ta có:

$$E_o = E_R + E_\tau + E_a \qquad (2.1)$$

Chia cả hai vế cho E_o:

$$1 = \frac{E_R}{E_o} + \frac{E_\tau}{E_o} + \frac{E_a}{E_o}$$

Hay $\quad 1 = \rho + \tau + \alpha$

ở đây $\rho = \frac{E_R}{E_o}$ được gọi là *hệ số phản xạ*.

$\tau = \frac{E_\tau}{E_o}$ được gọi là hệ số truyền qua.

$\alpha = \frac{E_a}{E_o}$ được gọi là hệ số hấp thụ.

Nói chung các hệ số ρ, τ và α phụ thuộc vào bước sóng của bức xạ và bản chất của chất.

Với vật có $\rho = 1$, $\tau = \alpha = 0$ được gọi là vật trắng tuyệt đối.

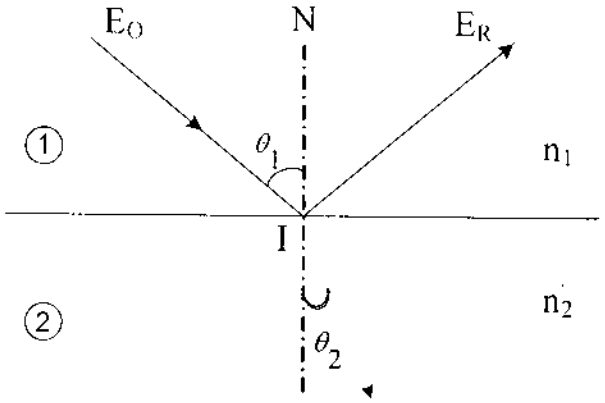
Với vật có $\tau = 1$, $\rho = \alpha = 0$ được gọi là vật trong suốt tuyệt đối.

Với vật có $\alpha = 1$, $\rho = \tau = 0$ được gọi là vật đen tuyệt đối.

Đối với các vật thực tế thì $0 < \alpha, \rho, \tau < 1$

Tuỳ theo mục đích ứng dụng mà người ta chọn vật liệu có ρ, τ hay α lớn (hay nhỏ).

2.1.2- Hệ số phản xạ



Hình 2.2- Hiện tượng phản xạ và khúc xạ ánh sáng.

Xét bề mặt phân cách giữa hai môi trường 1 và 2 (hình 2.2) có chiết suất tương ứng là n_1 và n_2. Một tia sáng có cường độ E_o tới bề mặt phân cách dưới góc tới θ_1. Khi tới điểm I tia sáng E_o bị tách thành 2 tia, một phản xạ trở lại môi trường 1 có cường độ E_R, một tia đi vào môi

trường 2 bị đổi phương truyền gọi là tia khúc xạ. Góc giữa tia khúc xạ và pháp tuyến kẻ từ điểm tới I ký hiệu là θ_2.

Theo định luật Fresnel thì nếu tia tới là tia sáng không phân cực thì hệ số phản xạ ρ được xác định bằng biểu thức sau:

$$\rho = \frac{E_R}{E_o} = \frac{1}{2}\left[\frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{tg^2(\theta_2 - \theta_1)}{tg^2(\theta_2 + \theta_1)}\right] \quad (2.3)$$

hay $\rho = \rho\perp + \rho//$ với

$\rho\perp = \dfrac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)}$ là hệ số phản xạ đối với thành phần tia phân cực vuông góc;

$\rho// = \dfrac{tg^2(\theta_2 - \theta_1)}{tg^2(\theta_2 + \theta_1)}$ là hệ số phản xạ đối với thành phần tia phân cực song song.

Như vậy hệ số phản xạ (2.3) là trung bình cộng của các hệ số phản xạ thành phần phân cực vuông góc và phân cực song song.

Đối với trường hợp đặc biệt, khi $\theta_1 = 0^o$ thì người ta đã chứng minh được:

$$\rho = \rho\perp = \rho// = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2 \quad (2.4)$$

Theo luật định khúc xạ Snell thì các giá trị θ_1 và góc khúc xạ θ_2 liên hệ với chiết suất các môi trường n_1 và n_2 bằng biểu thức:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.5)$$

Ví dụ 2.1: Xác định hệ số phản xạ của thuỷ tinh có chiết suất n = 1,52 khi tia sáng tới vuông góc với mặt giới hạn và khi góc tới $\theta_1 = 60^o$.

Giải:

Khi $\theta_1 = 0^o$, áp dụng công thức (2.4) ta có:

$$\rho(o) = \left[\frac{1,52 - 1,0}{1,52 + 1,0}\right]^2 = 0,043$$

Khi $\theta_1 = 60^o$, từ công thức (2.5) ta có :

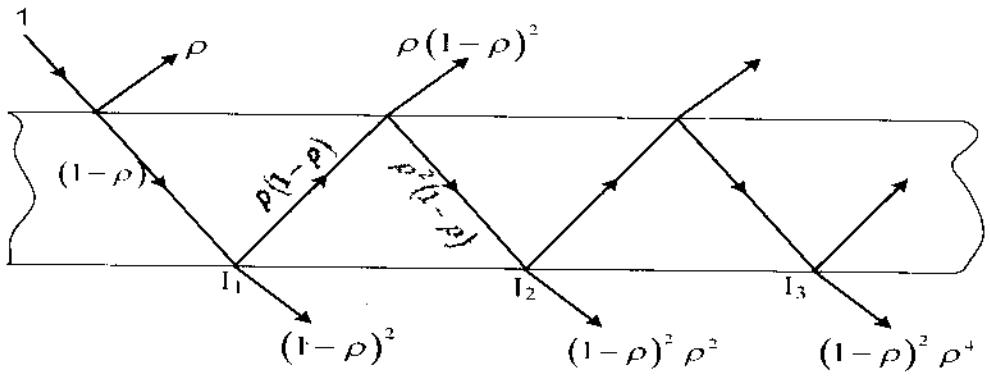
$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{\sin 60^o}{1,52}\right) = 34,47^o$$

Đặt θ_2 và θ_1 vào (2.3):

$$\rho(60) = \frac{1}{2}\left[\frac{\sin^2(34{,}47-60)}{\sin^2(34{,}47+69)} + \frac{tg^2(34{,}47-60)}{tg^2(34{,}47+60)}\right]$$

$$\rho(60) = 0{,}093 = \frac{1}{2}(0{,}1856 + 0{,}001)$$

2.1.3- Hệ số truyền qua kể đến phản xạ



Hình 2.3- Hiện tượng truyền qua kể đến phản xạ.

Xét một bản mặt song song như hình 2.3 có hệ số phản xạ ρ. Tia sáng có cường độ E_0 = 1 đơn vị tới mặt trên của bản và bị phản xạ nhiều lần trên các mặt giới hạn của bản như hình vẽ. Nếu bỏ qua hiện tượng hấp thụ bức xạ của bản, thì các tia xuyên qua bản và ló ra sau bản chính là các tia truyền qua. Dễ dàng tính được cường độ các tia truyền qua tại các điểm I_1, I_2, I_3,..., I_n, v.v... tương ứng sẽ là $(1-\rho)^2$, $(1-\rho)^2\rho^2$, $(1-\rho)^2\rho^4$,... $(1-\rho)^2\rho^{2n}$

Từ đó tổng năng lượng bức xạ truyền qua bản song song hay hệ số truyền qua τ_r khi tính đến hiện tượng phản xạ trên mặt giới hạn của bản sẽ là:

$$\tau_{r,1} = (1-\rho)^2 + (1-\rho)^2\rho^2 + (1-\rho)^2\rho^4 + ...$$

$$\tau_{r,1} = (1-\rho)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \rho^{2n} = \frac{1-\rho}{1+\rho} \qquad (2.6)$$

ở đây chỉ số r và 1 trong ký hiệu $\tau_{r,1}$ muốn nói hệ số truyền qua có tính đến phản xạ và trên 1 bản vật chất.

Trường hợp tia sáng E_0 = 1 đơn vị đi qua N bản mặt song song thì hệ số truyền qua sẽ là:

$$\tau_{r,N} = \frac{(1-\rho)}{1+(2N-1)\rho} \qquad (2.7)$$

Các công thức (2.6) và (2.7) đúng cho cả trường hợp khi tính toán hệ số truyền qua đối

với các thành phần phân cực . Cần chú ý rằng, khi tính toán hệ số truyền qua đối với ánh sáng tự nhiên thì phải lấy giá trị trung bình của cả hai thành phần phân cực.

Ví dụ 2.2: Tính hệ số truyền qua của hệ 2 tấm kính phủ ứng với các góc tới $\theta_1 = 0$ và 60°; cho n = 1,52

Giải: Dùng công thức (2.7) và đối với $\theta_1 = 0^o$ ta có:

$$\tau_{r,N} = \frac{(1-\rho)}{1+(2N-1)\rho} = \frac{(1-0,043)}{1+3.(0,043)} = 0,85$$

Khi $\theta_1 = 60^o$

Trong ví dụ mục (2.1.2) , đối với $\theta_1 = 60^o$ thì:

$\rho\perp = 0,185$ và $\rho// = 0,001$ nên

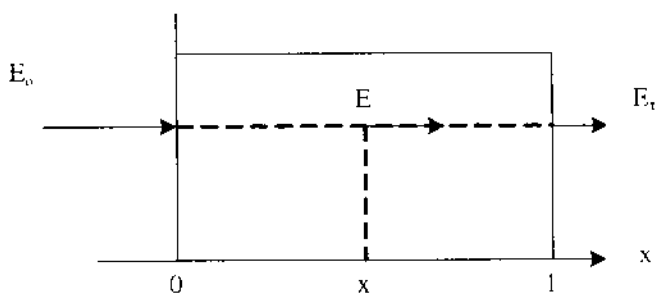
$$\tau_{1,2}(60^o) = \frac{1}{2}\left[\frac{1-0,185}{1+3.0,185} + \frac{1-0,001}{1+3.0,001}\right] = 0,76$$

2.1.4- Hệ số truyền qua tính đến hấp thụ

Xét tia sáng có cường độ E_o truyền qua một bản vật chất. Do bị chất hấp thụ, nên cường độ tia càng đi sâu vào chất càng yếu dần. Gọi cường độ tia sáng ở độ sâu x là E, thì theo định luật hấp thụ Bouguer ta có:

$$E = E_o e^{-kx} \qquad (2.8)$$

Nếu độ dày của khối chất là *l* (xem hình 2.4) thì tia truyền qua sẽ có cường độ E_τ và hơn nữa theo định luật Bourger ta có: $E_\tau = E_o e^{-kl}$ (2.9)



Hình 2.4- Sự hấp thụ khi tia sáng truyền qua chất.

Với k được gọi là *hệ số suy giảm*. Từ (2.8) và (2.9) suy ra hệ số truyền qua khi tính đến hấp thụ sẽ là:

$$\tau_\alpha = \frac{E_t}{E_o} = e^{-kl} \qquad (2.10)$$

Trong trường hợp nếu tia tới không đi qua khối chất theo phương vuông góc với cạnh khối chất mà tạo một góc θ nào đó thì hệ số truyền qua được xác định nhờ biểu thức:

$$\tau_\alpha = \exp(-kl/\cos\theta) \qquad (2.11)$$

Hệ số k phụ thuộc vào bản chất của chất và bước sóng tia bức xạ. Đối với các loại kính khác nhau, k biến thiên trong khoảng từ 5 đến $25m^{-1}$.

Như vậy bức xạ truyền qua một môi trường chất, do hiện tượng phản xạ và hấp thụ, nên hệ số truyền qua sẽ là:

$$\tau = \tau_r \cdot \tau_\alpha = \frac{(1-\rho)}{(1+\rho)} e^{-kl} \qquad (2.12)$$

Biểu thức này chỉ đúng khi tích (k*l*) khá nhỏ sao cho τ_α không qúa nhỏ so với đơn vị.

Trường hợp nếu tia sáng truyền qua N tấm kính như nhau, có độ dày *l* thì hệ số truyền qua của hệ sẽ là:

$$\tau = \frac{(1-\rho)}{1+(2N-1)\rho} . e^{-Nkl} \qquad (2.13)$$

Ví dụ 2.3: Hãy biểu diễn τ_r, τ_α và τ đối với tia sáng khi đi qua các tấm kính với các điều kiện được cho dưới đây:

- Số tấm kính N = 3
- Chiều dày mỗi tấm kính *l* = 4mm.
- Chiết suất của kính n = 1,52.
- Hệ số suy giảm k = $15m^{-1}$.
- Góc tới của tia sáng $\theta_1 = 15^o$.

Giải: $\theta_1 = 15^o$, áp dụng định luật khúc xạ tính được:

$$\theta_2 = \arcsin\left[\frac{\sin 15^o}{1,52}\right] = 9,8^o$$

xác định các hệ số phản xạ ρ⊥ và ρ// :

$$\rho\perp = \frac{\sin^2(9,8-15)}{\sin^2(9,8+15)} = 0,047$$

$$\rho// = \frac{tg^2(9,8-15)}{tg^2(9,8+15)} = 0,039$$

$$\tau_r\perp = \frac{(1+\rho)}{1+(2N-1)\rho} = \frac{1-0,047}{1+5.0,047} = 0,773$$

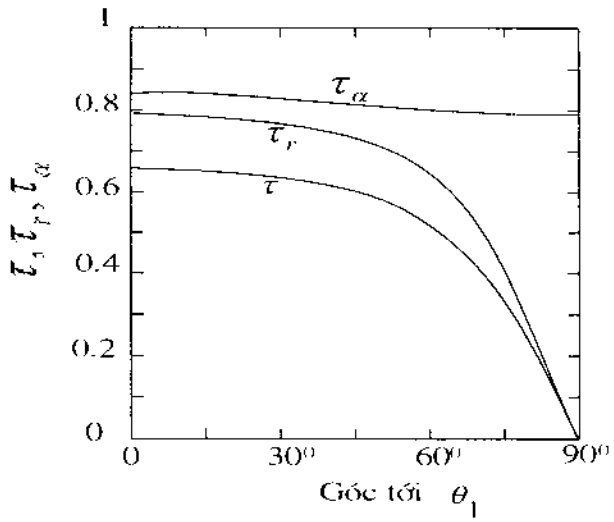
$$\tau_r// = \frac{1-\rho//}{1+(2N-1)\rho//} = \frac{1-0,039}{1+5.0,039} = 0,805$$

Do đó: $\tau_r = 1/2\ (\tau_r\perp + \tau_r//) = 1/2(0,773 + 0,805) = 0,789$

Hệ số truyền hấp thụ:

$$\tau_\alpha = \exp\ [-(3\ .\ 15\ .\ 4\ .\ 10^{-3})/\cos 9,8^\circ] = 0,833$$

và $\tau = \tau_r\ .\ \tau_\alpha = 0,789\ .\ 0,833 = 0,657$



Hình 2.5- Sự phụ thuộc của các hệ số truyền qua τ , τ_r và τ_α vào góc tới.

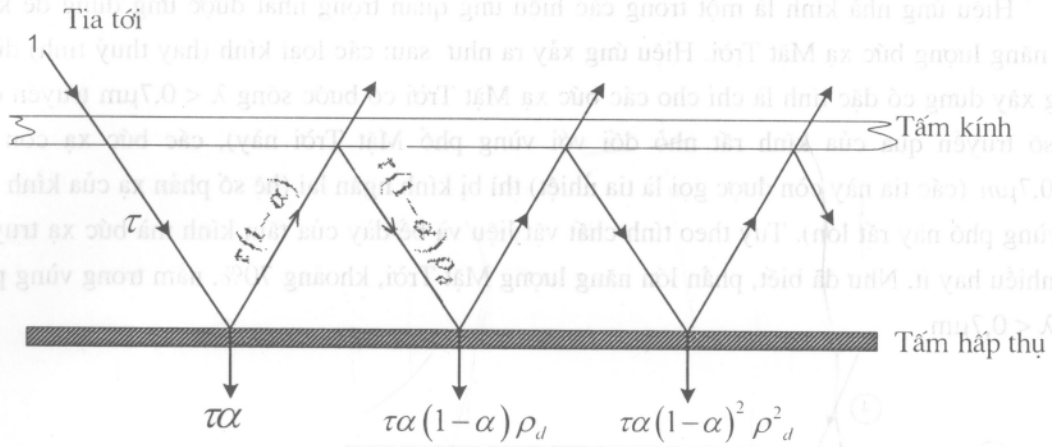
Khi cho các góc tới θ_1 các giá trị khác nhau ta sẽ tính được các hệ số truyền qua tương ứng. Trên hình (2.5) cho thấy sự phụ thuộc của τ , τ_r và τ_α vào góc tới θ_1 của tia bức xạ.

2.1.5- Sự truyền qua của bức xạ nhiều xạ

Các định luật và các phép tính toán trong các mục trên là đối với tia trực xạ. Tính toán hệ số truyền qua đối các tia nhiều xạ có khó khăn hơn do các tia nhiều xạ tới điểm quan sát từ mọi hướng. Vì vậy trong thực tế và qua các đo đạc thực nghiệm, *người ta có thể tính toán hệ số truyền qua đối với các tia nhiều xạ cũng dùng các công thức và định luật như đối với tia trực xạ nhưng với góc tới cố định $\theta_1 = 60^\circ$.*

2.2- HỆ SỐ TRUYỀN QUA KỂ ĐẾN HẤP THỤ VÀ PHẢN XẠ

Hệ số truyền qua có kể đến đồng thời cả hấp thụ và phản xạ chính là phần năng lượng mà một tấm hấp thụ nhận được sau khi tia bức xạ truyền qua N tấm kính ở phía trên tấm hấp thụ và bị mất mát năng lượng do cả hiện tượng hấp thụ và phản xạ (hình 2.6).



Hình 2.6- Hiện tượng hấp thụ có kể đến hệ số truyền qua và phản xạ.

Nếu ta ký hiệu tích số ($\tau\alpha$) là tổng năng lượng mà tấm hấp thụ nhận được thì nó cũng chính là tỷ số giữa phần năng lượng mà tấm hấp thụ nhận được và toàn bộ năng lượng của tia tới (bằng 1 đơn vị).

Như hình 2.6 chỉ rõ, tia bức xạ có cường độ bằng 1 đơn vị, sau khi qua tấm kính đậy phía trên, do bị tấm kính hấp thụ và làm phản xạ nên chỉ còn một phần năng lượng là $\tau = \tau_r \,.\, \tau_\alpha$ tới được tấm hấp thụ. Tia này khi gặp tấm hấp thụ lại bị chia thành 2 phần, một phần bị tấm hấp thụ hấp thụ $\tau\alpha$, phần còn lại phản xạ lên mặt dưới tấm kính có cường độ $(1-\alpha)\tau$. Tia phản xạ này khi gặp mặt dưới tấm kính lại bị phản xạ trở lại tấm hấp thụ. Tia phản xạ trở lại tấm hấp thụ sẽ có cường độ $(1-\alpha)\tau.\rho_d$, ở đây ρ_d là hệ số phản xạ đối với các tia nhiễu xạ của tấm kính. Tia phản xạ này khi tới tấm hấp thụ lại bị tấm hấp thụ hấp thụ phần năng lượng là $\tau\alpha(1-\alpha)\rho_d$, phần còn lại lại bị phản xạ về tấm kính,v.v... Quá trình hấp thụ trên tấm hấp thụ và phản xạ trên các tấm kính và tấm hấp thụ nhiều lần được mô tả trên hình 2.6.

Kết quả là tấm hấp thụ nhận được phần năng lượng tổng cộng là:

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha + \tau\alpha(1-\alpha)\rho_d + \tau\alpha(1-\alpha)^2\alpha\rho_d^2 + \ldots$$

$$= \tau\alpha\sum_{n=o}^{\infty}(1-\alpha)^n\rho_d^n = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_d} \qquad (2.14)$$

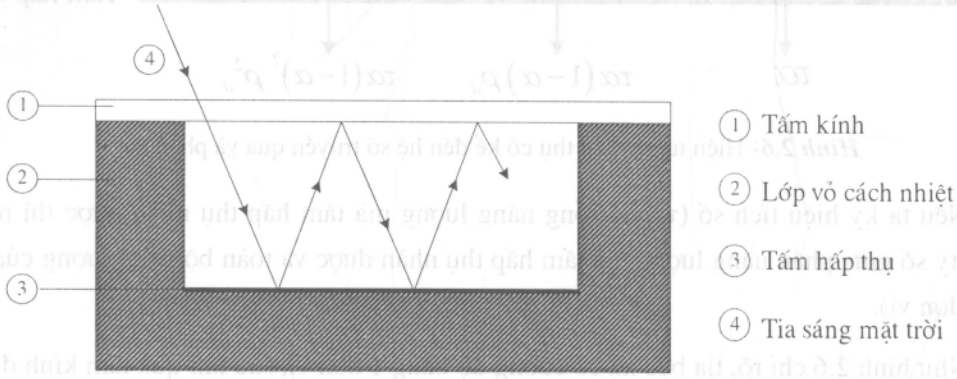
Chú ý rằng ρ_d là hệ số phản xạ đối với thành phần nhiễu xạ của hệ các tấm kính. Nó

được xác định bằng cách tính hệ số phản xạ của các tấm kính khi cho góc tới bằng 60°.

2.3- HIỆU ỨNG NHÀ KÍNH VÀ BỘ THU PHẲNG

2.3.1- Hiệu ứng nhà kính

Hiệu ứng nhà kính là một trong các hiệu ứng quan trọng nhất được ứng dụng để khai thác năng lượng bức xạ Mặt Trời. Hiệu ứng xảy ra như sau: các loại kính (hay thuỷ tinh) dùng trong xây dựng có đặc tính là chỉ cho các bức xạ Mặt Trời có bước sóng $\lambda < 0{,}7\mu m$ truyền qua (hệ số truyền qua của kính rất nhỏ đối với vùng phổ Mặt Trời này), các bức xạ còn lại $\lambda > 0{,}7\mu m$ (các tia này còn được gọi là tia nhiệt) thì bị kính ngăn lại (hệ số phản xạ của kính đối với vùng phổ này rất lớn). Tuỳ theo tính chất vật liệu và bề dày của tấm kính mà bức xạ truyền qua nhiều hay ít. Như đã biết, phần lớn năng lượng Mặt Trời, khoảng 70%, nằm trong vùng phổ với $\lambda < 0{,}7\mu m$.



Hình 2.7- Sơ đồ hộp thu năng lượng Mặt Trời sử dụng hiệu ứng nhà kính.

Ta khảo sát một buồng kín hình hộp như mô tả trên hình 2.7. Mặt trên hộp được đậy bằng tấm kính, thành chung quanh và đáy làm bằng vật liệu cách nhiệt tốt. Đáy hộp là một tấm kim loại dẫn nhiệt tốt, mặt trên của tấm được phủ một lớp sơn đen có hệ số hấp thụ cao. Tấm này được gọi là *tấm hấp thụ*. Tia Mặt Trời sau khi truyền qua tấm kính đậy phía trên hộp , tới bề mặt tấm hấp thụ, bị tấm này hấp thụ một phần năng lượng và chuyển hoá thành nhiệt làm cho tấm hấp thụ nóng dần lên. Khi đó tấm hấp thụ trở thành nguồn phát ra các tia bức xạ nhiệt thứ cấp có bước sóng dài hướng về mọi phía. Nhờ nhận liên tục các tia bức xạ Mặt Trời nên nó được nung nóng liên tục, và bức xạ nhiệt cũng được phát xạ liên tục. Những tia bức xạ nhiệt hướng lên phía trên bị kính ngăn lại do phần lớn các tia bức xạ nhiệt thứ cấp có bước sóng dài $\lambda > 0{,}7\mu m$ (nhiệt độ tấm hấp thụ không cao), bị phản xạ trở về tấm hấp thụ và lại bị tấm hấp thụ hấp thụ, v.v….Quá trình này dẫn đến nhiệt độ tấm hấp thụ tăng dần lên nhờ các mặt đáy và các thành bên được cách nhiệt tốt nên nhiệt không bị truyền dẫn ra ngoài hộp. Kết quả là năng lượng từ các tia

bức xạ Mặt Trời vào được hộp mà không ra ngoài được. Hộp thu trở thành một cái *bẫy nhiệt*. Hiện tượng đó được gọi là *hiệu ứng nhà kính*. Nhiệt độ của tấm hấp thụ càng cao, phát xạ nhiệt từ mặt hấp thụ càng lớn, cho đến khi năng lượng mà tấm hấp thụ nhận được từ bức xạ Mặt Trời cân bằng với năng lượng mất mát cho môi trường xung quanh thì trạng thái cân bằng nhiệt được thiết lập.

2.3.2- Bộ thu phẳng

Thiết bị thu năng lượng Mặt Trời hoạt động dựa trên hiệu ứng nhà kính với tấm hấp thụ có dạng tấm phẳng được gọi là Bộ thu phẳng, dưới đây ta gọi tắt là bộ thu. Bộ thu phẳng có rất nhiều ứng dụng như để sản xuất nước nóng, sấy nông hải sản phẩm, chưng lọc nước, sưởi ấm nhà cửa chuồng trại,... Nhưng dưới đây chúng ta chỉ nghiên cứu chủ yếu bộ thu để sản xuất nước nóng phục vụ sinh hoạt hay các quá trình sản xuất công nghiệp.

Về cơ bản bộ thu phẳng có cấu tạo như hộp thu hình 2.7. Để sản xuất nước nóng người ta hàn vào mặt dưới tấm hấp thụ một hệ ống kim loại và cho nước (hay một chất lỏng nào đó) chảy qua. Khi đó, nhiệt sẽ được truyền từ tấm hấp thụ qua các ống kim loại vào nước hoặc chất lỏng làm cho nó nóng lên. Bằng cách này người ta có thể có nước nóng đến 80 ÷ 85 ^{0}C vào mùa hè và 35 ÷ 45 ^{0}C về mùa đông. Hình 2.8 là sơ đồ một bộ thu phẳng để sản xuất nước nóng.

Có hai loại bộ thu phẳng: loại hoạt động theo chu trình đối lưu tự nhiên và loại hoạt động theo chu trình đối lưu cưỡng bức.

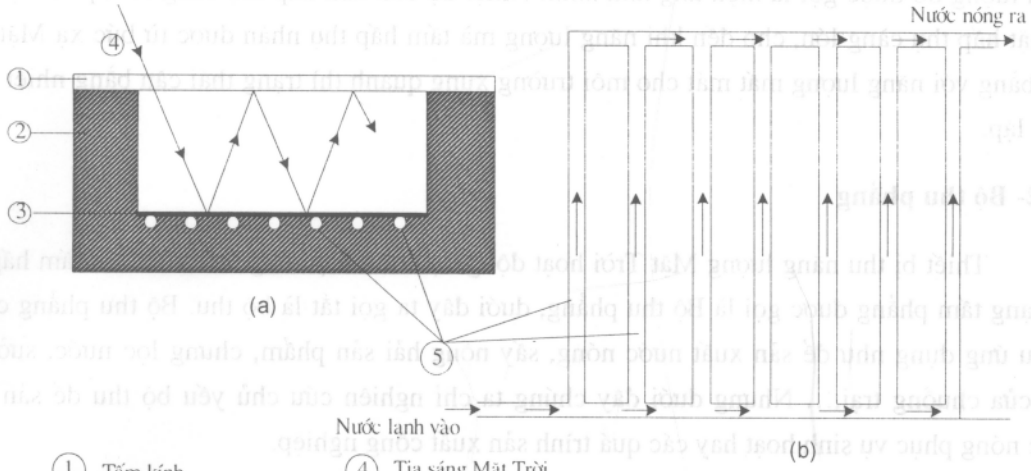
a- Bộ thu hoạt động theo chu trình đối lưu tự nhiên

Hình 2.9 là sơ đồ một bộ thu sản xuất nước nóng hoạt động theo *chu trình đối lưu tự nhiên*. Nước lạnh khi qua bộ thu, hấp thụ nhiệt và sẽ nóng lên, khối lượng riêng giảm nên nổi lên phía trên. Phía dưới các ống áp suất nước bị giảm nên nước lạnh lại chảy vào. Cứ như thế nước sẽ tự động chuyển động tuần hoàn theo chiều mũi tên chỉ ra trên hình 2.9. Kết quả là dòng nước sẽ tự chảy qua bộ thu nhiều lần và do đó nước trong bình chứa (có lớp cách nhiệt tốt xung quanh) sẽ đạt được nhiệt độ cao.

Khi lấy nước nóng trong bình chứa để sử dụng, nước trong bình vơi đi và nước lạnh tự động chảy bổ sung thêm vào.

Ưu điểm của hệ thống đun nước dùng đối lưu tự nhiên là việc chế tạo lắp đặt bộ thu đơn giản, rẻ tiền. Tuy nhiên hệ thống này có nhược điểm là năng suất sản xuất nước nóng thấp. Vì vậy cấu hình sản xuất nước nóng dùng đối lưu tự nhiên phù hợp cho việc sản xuất nước nóng dùng cho sinh hoạt trong các hộ gia đình hay các hộ sử dụng nước nóng không nhiều lắm (khách sạn nhỏ, bệnh xá, trang trại,v.v...).

Hiệu suất bộ thu hoạt động theo chu trình đối lưu tự nhiên chỉ đạt 40 ÷ 50%.



① Tấm kính ④ Tia sáng Mặt Trời

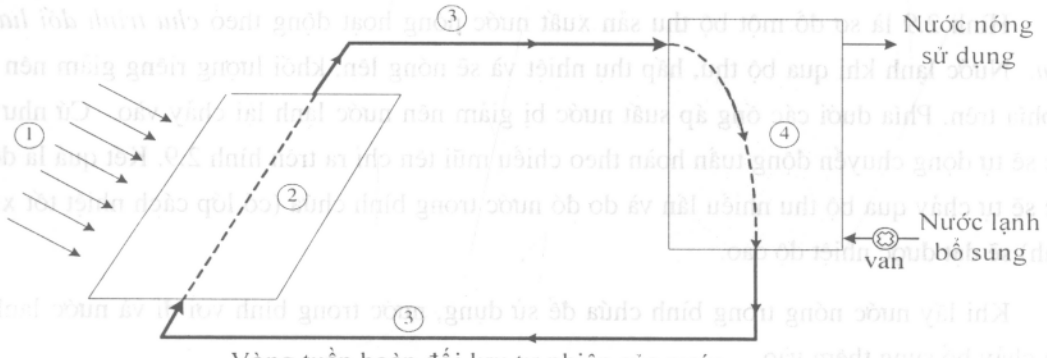
② Lớp vỏ cách nhiệt ⑤ Ống dẫn nước kim loại

③ Tấm hấp thụ

Hình 2.8- Sơ đồ bộ thu sản xuất nước nóng (a) và hệ ống kim loại hàn vào dưới tấm hấp thụ (b).

b- Bộ thu hoạt động theo chu trình đối lưu cưỡng bức

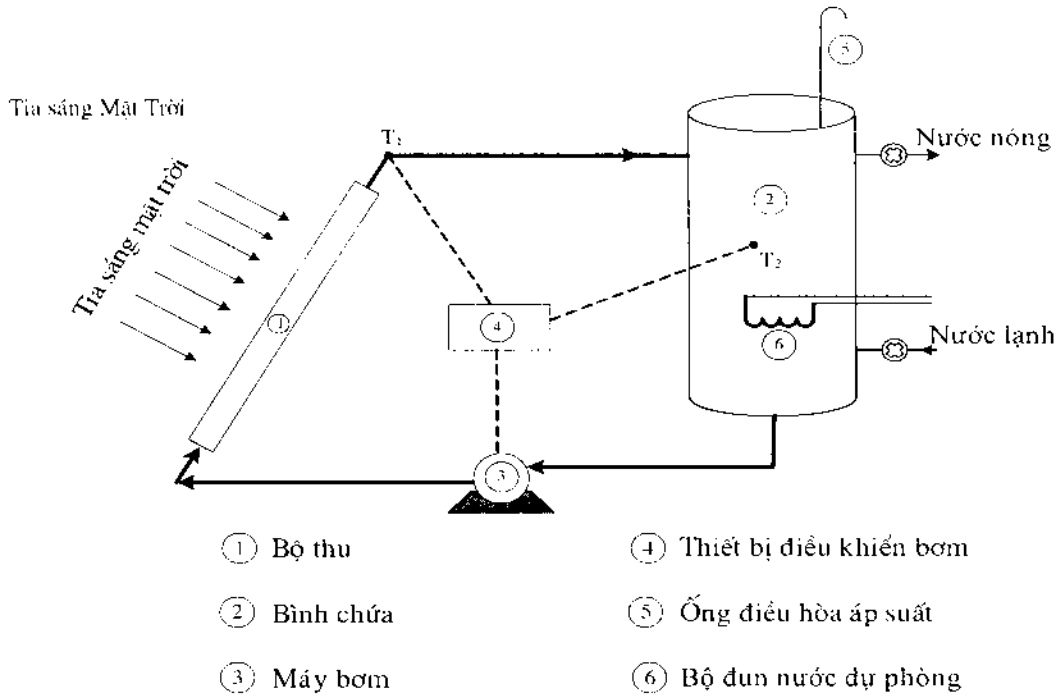
Khi cần một lượng nước nóng lớn thì hệ thống nước nóng đối lưu tự nhiên không thích hợp. Khi đó người ta sử dụng hệ thống dùng đối lưu cưỡng bức. Hình 2.10 là sơ đồ hệ thống sản xuất nước nóng dùng năng lượng Mặt Trời với chu trình đối lưu cưỡng bức.



① Tia sáng mặt trời ③ Đường dẫn nước

② Bộ thu ④ Thùng chứa

Hình 2.9- Hệ thống bộ thu hoạt động theo chu trình đối lưu tự nhiên.



Hình 2.10- Hệ thống bộ thu hoạt động theo chu trình đối lưu cưỡng bức.

Hệ thống bộ thu đối lưu cưỡng bức chỉ khác hệ bộ thu đối lưu tự nhiên là có thêm một máy bơm (3). Nước bị bơm cưỡng bức chảy qua bộ thu mà không phải chảy tuần hoàn tự nhiên như hệ thống đối lưu tự nhiên. Vì vậy hiệu suất và năng suất của loại thiết bị này cao hơn. Hiệu suất thu nhiệt của hệ thống phụ thuộc vào tốc độ nước chảy qua bộ thu. Để điều khiển quá trình cưỡng bức này thông thường người ta lắp thêm một thiết bị điện tử (4), nó tự động theo dõi hiệu số nhiệt độ $\Delta T = T_1 - T_2$. Căn cứ trên hiệu số nhiệt độ ΔT mà thiết bị điều khiển điện tử sẽ cho bơm làm việc hay ngừng bơm.

Trong trường hợp phải sử dụng nước nóng cho sản xuất hay các dịch vụ yêu cầu nước nóng liên tục người ta còn lắp thêm bộ phận đun nước bằng điện hay khí đốt (gas) dự phòng (6) cho những thời gian không có nắng như chỉ ra trên hình 2.10.

2.3.3- Hiệu suất bộ thu phẳng

Gọi q_u là năng lượng hữu ích tức là năng lượng mà chất lỏng nhận được, S là mật độ dòng năng lượng Mặt Trời tới tấm hấp thụ, A_c là diện tích tấm hấp thụ, thì hiệu suất bộ thu được định nghĩa bằng biểu thức:

$$\eta = \frac{q_u}{S.A_C} \qquad (2.15)$$

Thông thường người ta tính hiệu suất bộ thu trong một giờ $\eta_{giờ}$ hay trong một ngày $\eta_{ngày}$ được xác định theo các công thức sau:

$$\eta_{giờ} = \frac{\sum q_u}{A_C \sum S} \tag{2.16}$$

trong đó tổng $\Sigma\, q_u$ và $\Sigma\, S$ được lấy trong một giờ hay cả ngày. Còn mật độ năng lượng Mặt Trời S được xác định từ biểu thức sau:

$$S = I_b r_b\, (\tau\alpha)_b + [I_d r_d + (I_b + I_d)\, r_r\,]\, (\tau\alpha)_d \tag{2.17}$$

Trong đó I_b, r_b, I_d, r_d, r_r đã được định nghĩa trong mục 1.5 chương 1, $(\tau\alpha)_b$ và $(\tau\alpha)_d$ là hệ số hấp thụ hiệu dụng của tấm hấp thụ (xem mục 2.2 chương 2) đối với các thành phần trực xạ và nhiễu xạ. Ngoài ra giữa nhiệt có ích q_u và tổng nhiệt hao phí q_l có mối quan hệ :

$$q_u = S.\, A_c - q_l \tag{2.18}$$

Dưới đây ta sẽ phân tích đánh giá chi tiết hơn về hiệu suất bộ thu phẳng.

2.4- HỆ SỐ HAO PHÍ NHIỆT TỔNG VÀ CÁC HỆ SỐ TRUYỀN NHIỆT

Ta hãy xem xét một bộ thu năng lượng Mặt Trời ứng dụng hiệu ứng nhà kính để sản xuất nước nóng như trên hình 2.8.

Trong bộ thu này, bên cạnh quá trình nhận năng lượng nhiệt bức xạ Mặt Trời theo hiệu ứng nhà kính như đã trình bày ở trên, còn có các quá trình hao phí nhiệt do các hiện tượng truyền dẫn nhiệt từ tấm hấp thụ ra ngoài. Ta hãy nghiên cứu chi tiết hơn các hiện tượng này để xác định hiệu suất bộ thu.

Gọi tổng nhiệt lượng hao phí từ bộ thu là q_l thì nó có thể biểu diễn qua hệ số hao phí nhiệt tổng U_l, nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ T_p, nhiệt độ môi trường là T_a và diện tích bộ thu là A_c bằng biểu thức:

$$q_l = U_l\, A_c\, (T_p - T_a) \tag{2.19}$$

Nhiệt hao phí tổng là tổng của các hao phí nhiệt do truyền dẫn và bức xạ nhiệt ra ngoài bộ thu theo 3 hướng : lên trên, xuống dưới và ra các thành xung quanh bộ thu. Gọi các nhiệt năng mất mát lên phía trên là q_t, xuống phía dưới q_b và ra các thành xung quanh q_s , theo định luật bảo toàn năng lượng ta có:

$$q_l = q_t + q_b + q_s \tag{2.20}$$

ở đây ta đã giả thiết rằng nhiệt mất mát do tích nhiệt trên bộ thu là không đáng kể và bỏ qua.

Mỗi một nhiệt hao phí trong (2.20) cũng có thể được biểu diễn dưới dạng tương tự như

(2.19), tức là :

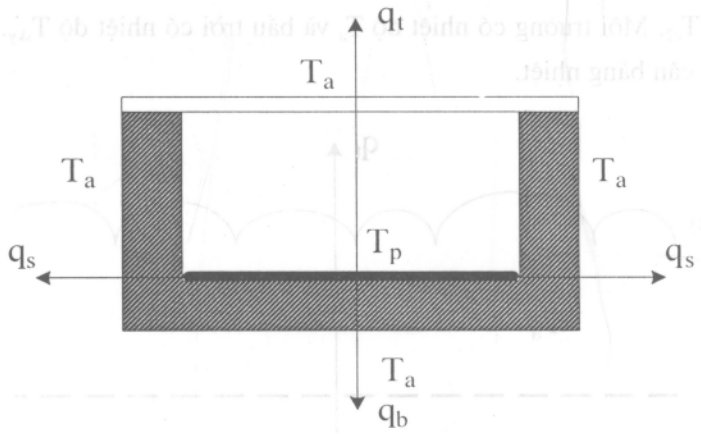
$$q_t = U_t A_c (T_p - T_a) \quad (2.21)$$

$$q_b = U_b A_c (T_p - T_a) \quad (2.22)$$

$$q_s = U_s A_c (T_p - T_a) \quad (2.23)$$

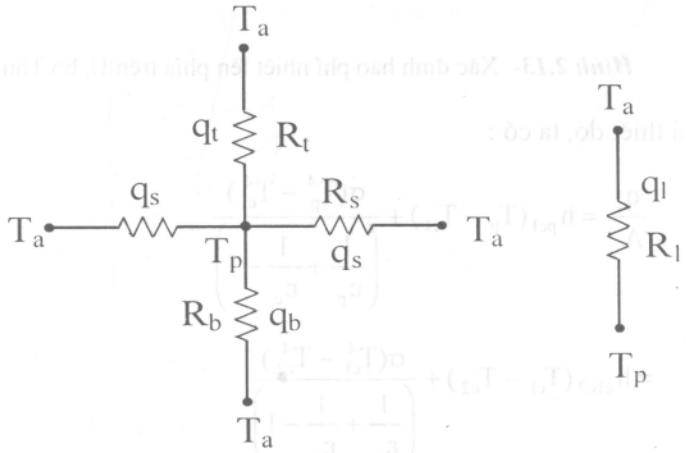
ở đây U_t, U_b và U_s lần lượt là hệ số hao phí nhiệt lên trên, xuống dưới và ra xung quanh (hình 2.11). Khi so sánh (2.19) và (2.20), (2.21) và (2.22) ta có :

$$U_l = U_t + U_b + U_s \quad (2.24)$$



Hình 2.11 - Hao phí nhiệt theo các phương trên, dưới và xung quanh bộ thu.

Các hao phí nhiệt cũng có thể biểu diễn theo *ngôn ngữ trở nhiệt* như được chỉ ra trên hình 2.12.

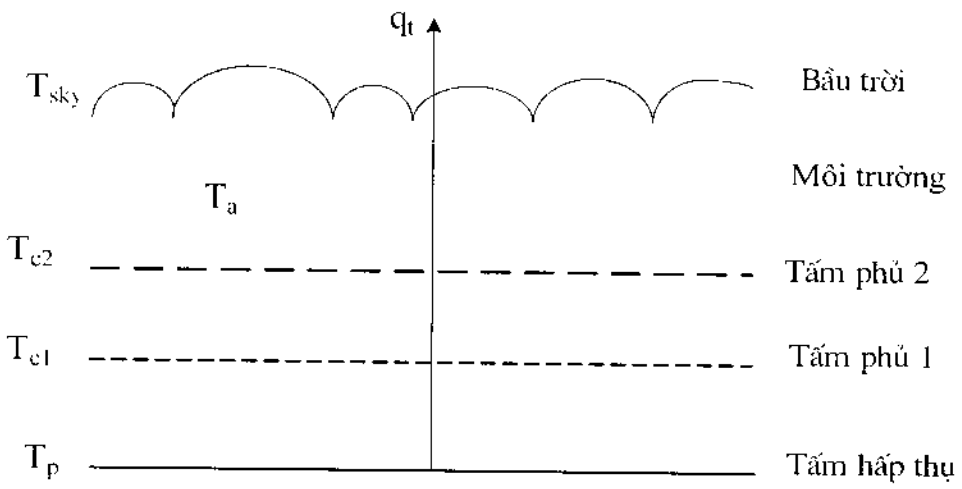


Hình 2.12- Các trở nhiệt gây ra hao phí nhiệt của bộ thu.

2.4.1- Hao phí nhiệt lên phía trên

Hao phí nhiệt lên phía trên q_t là tổng của các hao phí nhiệt do các quá trình dẫn nhiệt đối lưu và bức xạ nhiệt từ tấm hấp thụ theo hướng lên phía trên. Để tính toán các hao phí này ta giả thiết rằng các tấm đậy trong suốt và tấm hấp thụ là các tấm song song với nhau có độ rộng vô hạn và dòng nhiệt lên phía trên là dòng một chiều và dòng dừng. Thêm nữa, ta giả thiết rằng, sự chênh lệch nhiệt độ trên mỗi tấm đậy là có thể bỏ qua và bức xạ Mặt Trời bị các tấm đậy hấp thụ là không tương tác với dòng nhiệt lên phía trên. Bức xạ thứ cấp trên hệ là bức xạ sóng dài nên có thể xem các tấm đậy là không trong suốt. Điều này là rất phù hợp nếu các tấm đậy là thuỷ tinh.

Ta xét sơ đồ hình 2.13 gồm tấm hấp thụ có nhiệt độ T_p, phía trên nó có 2 tấm đậy có nhiệt độ T_{c1} và T_{c2}. Môi trường có nhiệt độ T_a và bầu trời có nhiệt độ T_{sky}. Giả sử cả hệ thống ở trong trạng thái cân bằng nhiệt.



Hình 2.13- Xác định hao phí nhiệt lên phía trên U_t bộ Thu.

Từ các giả thiết đó, ta có :

$$\frac{q_t}{A_c} = h_{pc1}(T_p - T_{c1}) + \frac{\sigma(T_p^4 - T_{c1}^4)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1\right)} \tag{2.25}$$

$$= h_{c1c2}(T_{c1} - T_{c2}) + \frac{\sigma(T_{c1}^4 - T_{c2}^4)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_c} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1\right)} \tag{2.26}$$

$$= h_{ra}(T_{c2} - T_a) + \sigma\varepsilon_c(T_{c2}^4 - T_{sky}^4) \tag{2.27}$$

trong đó: h_{pc1} - hệ số truyền nhiệt đối lưu giữa tấm hấp thụ và tấm đậy 1 ;

h_{pc2} - hệ số truyền nhiệt đối lưu giữa các tấm đậy thứ 1 và thứ 2 ;

h_{ω} - hệ số truyền nhiệt đối lưu giữa các tấm đậy trên cùng và môi trường ;

ε_p, ε_c - các hệ số phát xạ của tấm hấp thụ và tấm đậy.

Phương trình (2.25) mô tả dòng nhiệt từ tấm hấp thụ đến tấm đậy 1 ; phương trình (2.26) mô tả dòng nhiệt từ tấm đậy 1 đến tấm đậy 2 ; phương trình (2.27) là dòng nhiệt từ tấm đậy 2 ra môi trường. Các phương trình này tạo ra một hệ phương trình không tuyến tính. Khi giải hệ này ta có thể tìm ra được các ẩn số là q_t, T_{c1} và T_{c2}. Nhưng trước khi giải hệ phương trình trên chúng ta cần phải thực hiện các hiệu chính để tính các hệ số truyền nhiệt đối lưu h_{pc1}, h_{c1c2} và h_{ω} cũng như nhiệt độ bầu trời T_{sky} .

a- Hệ số truyền nhiệt giữa các mặt song song vô hạn

Hệ số truyền nhiệt đối lưu tự nhiên đối với các không gian cô lập giữa tấm hấp thụ và các tấm đậy thứ 1 hoặc giữa 2 tấm đậy được tính toán bằng cách dùng một trong các hiệu chính dưới đây do Buchberg đưa ra. Các hiệu chính dựa trên sự nghiên cứu, phân tích các số liệu thực nghiệm có thể và tất cả các hiệu chính trước đây.

$$Nu_l = 1;\ Ra_l \,.\, \cos\beta < 1708$$

$$Nu_l = 1 + 1{,}446\left(1 - \frac{1708}{Ra_l \cos\beta}\right)\ ;\ 1708 < Ra_l\cos\beta < 5900$$

$$Nu_l = 0{,}229\,(Ra_l\cos\beta)^{0{,}252}\ ;\ 5900 < Ra_l\cos\beta < 9{,}23 \times 10^4$$

$$Nu_l = 0{,}157\,(Ra_l\cos\beta)^{0{,}285}\ ;\ 9{,}23 \times 10^4 < Ra_l\cos\beta < 10^6 \qquad (2.28)$$

Nu_l và Ra_l là các số Nusselt và Rayleigh. Độ dài đặc trưng L là không gian giữa các mặt, còn các tính chất thì được đánh giá bằng giá trị trung bình số học của các nhiệt độ của bề mặt.

b- Hệ số truyền nhiệt từ tấm đậy trên cùng

Hệ số truyền nhiệt đối lưu h_{ω} từ tấm đậy trên cùng của không gian có thể tính nhờ dùng công thức kinh nghiệm sau của McAdams:

$$h_{\omega} = 5{,}7 + 3{,}8V \qquad (2.29)$$

Trong đó h_{ω} tính ra $W/m^2.K$ và V là vận tốc gió tính ra m/s. Sparrow và các đồng nghiệp đã đưa ra sự hiệu chính không thứ nguyên sau đây:

$$J = 0{,}86\,(Re_l^*)^{-1/2} \qquad (2.30)$$

ở đây J được gọi là thừa số J và

$$J = h_\omega / \rho\, C_p V P_r^{2/3}$$

Re_{L^*} = số Reynolds = (VL^*/ν) trên cơ sở độ dài đặc trưng $L^* = 4A_c / C_c$;

trong đó: A_c = diện tích bộ thu; C_c = chu vi liên hệ với diện tích bộ thu.

Phương trình (2.30) được đưa ra trên cơ sở phân tích rất nhiều thí nghiệm về gió được thực hiện ở các điều kiện khác nhau.

Nhiệt độ bầu trời T_{sky} cũng được xác định từ phương trình kinh nghiệm sau đây:

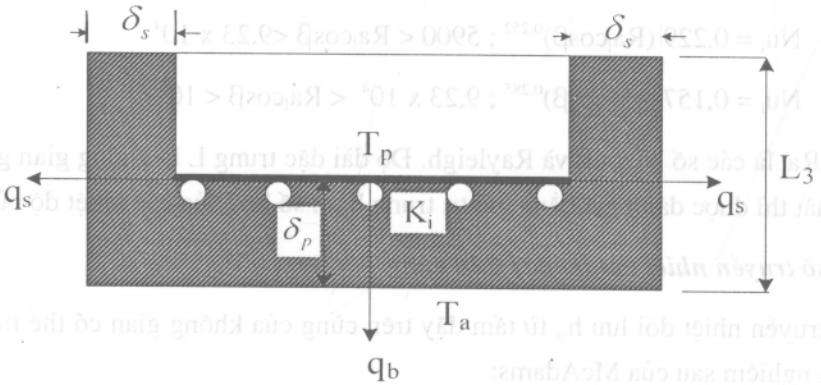
$$T_{sky} = Ta - 6 \quad (K) \tag{2.31}$$

2.4.2- Hao phí nhiệt xuống phía dưới

Hệ số hao phí nhiệt xuống phía dưới U_b được đánh giá từ việc phân tích các hao phí nhiệt do dẫn nhiệt qua thành cách nhiệt và hao phí nhiệt do dẫn nhiệt đối lưu từ tấm hấp thụ xuống phía dưới của bộ thu. Ta cũng giả thiết rằng dòng nhiệt xuống phía dưới cũng là dòng một chiều và dừng (hình 2.14). Trong đa số trường hợp, độ dày của lớp cách nhiệt là lớn nên có thể bỏ qua phần hao phí nhiệt do truyền nhiệt đối lưu. Vì vậy:

$$U_b = \frac{k_i}{\delta_p} \tag{2.32}$$

ở đây k_i = độ dẫn nhiệt của cách nhiệt, δ_p = độ dày của lớp cách nhiệt.



Hình 2.14- Các hao phí nhiệt xuống dưới và ra xung quanh.

2.4.3- Hao phí nhiệt ra xung quanh

Cũng như trên, ta giả thiết dòng nhiệt q_s (hình 2.14) là dòng một chiều và dừng. Hơn nữa ta cũng bỏ qua hao phí nhiệt do dẫn nhiệt đối lưu như đã làm với q_b.

Nếu kích thước tấm hấp thụ là L_1 và L_2 và độ cao của bộ thu là L_3, thì tiết diện mà dòng nhiệt q_s đi qua là $2(L_1 + L_2)L_3$. Nhiệt độ giảm từ T_p ở tấm hấp thụ xuống T_a ở bờ ngoài của lớp cách nhiệt. Khi chú ý rằng dòng nhiệt chỉ truyền theo phương vuông góc với thành xung quanh theo 2 chiều (sang trái và phải) nên:

$$q_s = 2L_3(L_1 + L_2)k_i \frac{(T_p - T_a)}{2\delta_s} \tag{2.33}$$

Mặt khác do $q_s = U_s A_c (T_p - T_a)$ nên rút ra:

$$U_s = \frac{(L_1 + L_2)L_3}{L_1 \times L_2} \cdot \frac{k_i}{\delta_s} \tag{2.34}$$

Để minh hoạ ta hãy xét ví dụ sau đây.

Ví dụ 2.4: Hãy tính hệ số hao phí nhiệt toàn phần đối với một bộ thu phẳng có 2 tấm kính đậy và với các điều kiện được cho sau đây:

- Kích thước tấm hấp thụ: L_1 x L_2 = 0,9 x 1,9m^2
- Khoảng cách giữa tấm hấp thụ và tấm kính đậy thứ nhất = 4cm
- Khoảng cách giữa tấm kính đậy thứ 1 và thứ 2 = 4cm
- Hệ số bức xạ của tấm hấp thụ (ε_p) = 0,92
- Hệ số bức xạ của kính (ε_c) = 0,88
- Góc nghiêng của bộ thu (β) = 20°
- Nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ (T_p) = 70°C
- Nhiệt độ môi trường (T_a) = 24°C
- Tốc độ gió (V) = 2,5m/s
- Độ dày lớp cách nhiệt phía dưới (δ_p) = 8cm
- Độ dày lớp cách nhiệt xung quanh (δ_s) = 4cm
- Hệ số dẫn nhiệt của cách nhiệt (k_i) = 0,05W/m,K

Giải:

Từ phương trình (2.30): $T_{sky} = T_a - 6 = 297,2 - 6 = 291,1K$

Thay giá trị T_p, T_a, ε_c, ε_p vào các phương trình (2.25) đến (2.27) ta có:

$$\frac{q_t}{A_c} = h_{pcl}(343,2 - T_{cl}) + \frac{5,67x10^{-8}(343,2^4 - T_{cl}^4)}{\left(\frac{1}{0,92} + \frac{1}{0,88} - 1\right)} \tag{2.35}$$

$$= h_{pcl}(343,2 - T_{cl}) + 4,635x10^{-8}(138,736x10^8 - T_{cl}^4)$$

$$\frac{q_t}{A_c} = h_{c1c2}(T_{c1} - T_{c2}) + \frac{5,76x10^{-8}(T_{c1}^4 - T_{c2}^4)}{(\frac{1}{0,88} + \frac{1}{0,88} - 1)}$$

$$= h_{c1c2}(T_{c1} - T_{c2}) + 4,455x10^{-8}(T_{c1}^4 - T_{c2}^4) \quad (2.36)$$

và

$$\frac{q_t}{A_c} = h_{\omega}(T_{c2} - 297,2) + 5,76x10^{-8}(T_{c1}^4 - 291,2^4)$$

$$= h_{\omega} = (T_{c2} - 297,2) + 4,99x10^{-8}(T_{c2}^4 - 71,9061x10^8) \quad (2.37)$$

Từ các phương trình (2.35) đến (2.37) giải ra ta tìm được các ẩn số là $\frac{q_t}{A_c}$, T_{c1} và T_{c2}. Muốn vậy, chúng ta cần biết các giá trị của h_{pc1}, h_{pc2} và h_{ω}. Vì các giá trị này phụ thuộc vào T_{c1} và T_{c2} nên chúng ta cần sử dụng phương pháp *thử và sai số* như sau.

Trước hết giả thiết cho T_{c1} = 325K; T_{c2} = 305K. Ta sử dụng các hiệu chính (2.28) để tính h_{pc1} và h_{c1c2} và dùng hiệu chính (2.29) để tính h_{ω}:

Tính h_{pc1}:

Nhiệt độ trung bình của không khí giữa tấm hấp thụ và tấm kính dày 1:

$$\frac{343,2 + 325}{2} = 334,1K$$

ở nhiệt độ đó: k = 0,0291W/m.K; ν = 19,06 x10^{-6} m^2/s ; p_r = 0,696 (các giá trị này có thể tra trong bảng)

$$Ra_1\cos\beta = 9,81x\frac{1}{34,1} \times \frac{(342,2 - 325)x0,04^3}{19,06^2 x10^{-12}} \times 0,696\cos 20^o = 61544$$

Từ đó:

$$Nu_1 = 0,229(61544)^{0,252} = 3,6873$$

Do đó: $$h_{pc1} = \frac{3,6873 \times 0,0291}{0,04} = 2,683\frac{W}{m^2.K}$$

Tính h_{c1c2}:

Nhiệt độ trung bình của không khí giữa 2 tấm kính thứ 1 và thứ 2 là:

$$\frac{325 + 305}{2} = 315K$$

Bằng cách tính tương tự như trên ta thu được:

$h_{c1c2} = 2,803\ W/m^2.K$

Tính h_{o1}: Nhiệt độ trung bình giữa tấm kính thứ 2 và môi trường:

$$\frac{305 + 297,2}{2} = 301,1K$$

ở nhiệt độ đó: $\rho = 1,173 kg/m^3$; $C_p = 1,005 kJ/kg.K$; $\nu = 15,08 \times 10^{-6} m^2/s$ và

$p_r = 0,701$ (các giá trị này có thể tra trong bảng).

Độ dài đặc trưng trong (2.31) : $L^* = \frac{4A_c}{C_c} = \frac{4 \times (1,90 + 0,08)(0,90 + 0,08)}{2(1,90 + 0,08 + 0,90 + 0,08)}$

$$L^* = 1,311m$$

$$R^*_{cl} = \frac{2,5 \times 1,311}{15,80 \times 10^{-6}} = 0,2074 \times 10^6$$

Từ phương trình (2.31): $J = 0,86 \times (0,2074 \times 10^{-6})^{-1/2}$

$$J = 0,001888$$

Do đó: $h_{o1} = 0,001888 \times 1,173 \times 1,005 \times (2,5 \times 10^3) \times (0,701)^{-2/3}$

$$h_{o1} = 7,04 \cdot \frac{W}{m^2.K}$$

Sau khi thay các giá trị vừa tính được vào các phương trình từ (2.35) đến (2.37) chúng ta thu được các giá trị: T_{c1} và T_{c2}. Kết quả được tóm tắt trong bảng (2.1) sau.

Bảng 2.1

T_{c1} (K)	T_{c2} (K)	q_t/A_c từ		
		Ph.trình (2.31)	Ph.trình (2.32)	Ph.trình (2.33)
325	305	174,8	167,6	127,9
326	307	165,7	160,7	153,4
326,4	307,4	162,0	161,1	158,6
326,5	307,6	161,1	160,4	161,1

Các giá trị của $\frac{q_t}{A_c}$ ở dòng cuối cùng là tương đối gần bằng nhau. Vì thế giá trị trung bình chấp nhận được là $160,9 W/m^2$ (= [161,1 + 160,4 + 161,1]/ 3).

Từ đó suy ra giá trị T_{c1} và T_{c2} tương ứng là 326,5 K và 307,6 K rất gần với giá trị giả thiết

ban đầu T_{c1} = 325K và T_{c2} = 305K nên không cần phải *thử tính* lại các giá trị h_{pc1}, h_{c1c2} và h_{ω}.

Do đó : $U_t = \dfrac{160,9}{(343,2 - 297,2)} = 3,50 W/m^2.K$

Từ các phương trình (2.33) và (2.35) ta thu được :

$$U_b = \frac{0,05}{0,08} = 0,63 W/m^2.K \quad ; \quad U_s = \frac{(0,90 + 1,90)x0,16x0,05}{0,90x1,90x0,04} = 0,33 W/m^2.K$$

và cuối cùng: $U_l = U_t + U_b + U_s = 3,50 + 0,63 + 0,33$

$U_l = 4,46 W/m^2.K$.

2.2.4- Công thức kinh nghiệm tính hệ số hao phí nhiệt lên phía trên U_t

Từ ví dụ trên ta thấy rằng, việc tính toán để xác định hệ số hao phí nhiệt lên phía trên U_t là công việc rất khó khăn và phức tạp. Dựa trên những tính toán đối với một số khá lớn tấm đậy và trong một khoảng rộng đối với bộ thu phẳng, Klein đã đưa ra công thức kinh nghiệm thuận lợi dưới đây để tính hệ số hao phí nhiệt lên phía trên.

$$U_t = \left[\frac{N}{\left(\frac{C}{T_p}\right)\left(\frac{T_p - T_a}{N + f}\right)^{0,33}} + \frac{1}{h_{\omega}}\right]^{-1} + \left[\frac{\sigma(T_p^2 + T_a^2)(T_p + T_a)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0,05N(1 - \varepsilon_p)} + \frac{(2N + f - 1)}{\varepsilon_c} - N}\right] \qquad (2.38)$$

ở đây $f = [1 - 0,04h_{\omega} + 0,0005 h_{\omega}^2 (1 + 0,091N)]$

$C = 365,9 (1 - 0,00883\beta + 0,0001298 \beta^2)$

N = số tấm đậy.

Khi dùng phương trình (2.38), T_p và T_a được đo bằng độ K; h_{ω} được đo $W/m^2.K^4$ và β bằng độ. Giá trị của U_t sẽ có đơn vị $W/m^2.K$. Điều kiện để sử dụng (2.38) là:

$320 \le T_p \le 420$ K

$260 \le T_a \le 310$ K

$0,1 \le \varepsilon_p \le 0,95$

$0 \le V \le 10$ m/s

$1 \le N \le 3$

$0 \le \beta \le 90^o$

Mặc dù không đưa ra khoảng xác định cụ thể như các thông số nói trên, nhưng những giá trị ε_c và L cũng được xem là không đổi và bằng 0,88 và 2,54 cm. Sự sai lệch của giá trị U_l xác định theo công thức kinh nghiệm (2.38) so với giá trị tính chính xác theo các công thức trong mục (2.41) chỉ là 0,14 $W/m^2.K$.

2.5- THỪA SỐ HIỆU SUẤT BỘ THU

Trong mục 2.4 các bước tính toán hệ số hao phí tổng U_l đã được trình bày một cách chi tiết. Như đã thấy, nhiệt hao phí từ bộ thu có thể xác định được nếu biết nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ T_p. Nhưng nói chung nhiệt độ này là không biết được. Vì vậy người ta cần phải xem xét dòng nhiệt từ tấm hấp thụ truyền qua các ống vào chất lỏng. Và từ nhiệt độ của chất lỏng chảy vào và nhiệt độ chất lỏng chảy ra (có thể biết được dễ dàng hơn) người ta sẽ xác định trở lại nhiệt độ tấm hấp thụ T_p và các thông số khác.

Để đơn giản bài toán chúng ta sẽ tiếp cận vấn đề nói trên bằng cách thực hiện một số phân tích một chiều. Trước hết ta sẽ nghiên cứu quá trình truyền nhiệt từ tấm hấp thụ tới chất lỏng theo chiều vuông góc với dòng chảy của chất lỏng. Tiếp theo ta sẽ xét quá trình truyền nhiệt từ tấm hấp thụ cho chất lỏng theo chiều dọc theo chiều dòng chảy của nó.

Ta hãy xét một bộ thu có tấm hấp thụ hình chữ nhật, chiều dài L_1 và chiều rộng L_2. Gọi khoảng cách giữa hai ống cho chất lỏng chảy qua liền kề là $W = L_2/N$, với N là số ống của bộ thu. Ta ký hiệu D_i và D_o là đường kính trong và ngoài của ống.

Xét một đoạn tấm hấp thụ có 2 ống chất lỏng như hình 2.15.

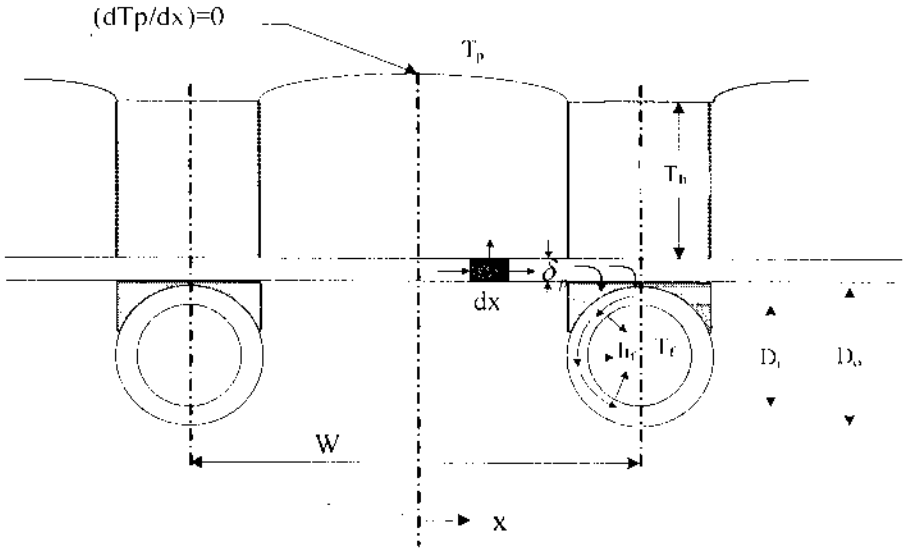
Nhiệt độ tấm hấp thụ T_p biến đổi theo chiều OX (chiều vuông góc với dòng chảy) như được biểu diễn trên hình 2.15. Phân bố nhiệt độ như thế là cũng đúng cho trên các đoạn khác của tấm hấp thụ: trên các ống chất lỏng, nhiệt độ không thay đổi, còn giữa các ống nhiệt độ đạt cực đại. Xét một đoạn chiều dài dy dọc theo chiều dòng chảy và bỏ qua sự truyền nhiệt trên bản hấp thụ theo chiều dọc theo dòng chảy, chúng ta có phương trình cân bằng nhiệt đối với yếu tố diện tích dx.dy của tấm hấp thụ như sau:

(Nhiệt lượng được dẫn vào yếu tố) + (năng lượng tới tấm hấp thụ nhận được)

= (nhiệt hao phí từ yếu tố)

hay $$k_p \delta_p \frac{d^2T_p}{dx^2} dxdy + Sdxdy = U_e dxdy (T_p - T_a)$$

sau khi đơn giản ta có: $$\frac{d^2T_p}{dx^2} = \frac{U_e}{k_p\delta_p}\left[T_p - T_a - \frac{S}{U_e}\right] \quad (2.39)$$



Hình 2.15- Tính truyền nhiệt theo chiều ngang OX.

Dùng các điều kiện biên :

Tại $x = 0$, $\frac{dT_p}{dx} = 0$; tại $x = \frac{W - D_o}{2}$ thì $T_p = T_{po}$

Và giải phương trình (2.39) ta thu được biểu thức:

$$\frac{T_p - (T_a + \frac{S}{U_e})}{T_{po} - (T_a + \frac{S}{U_e})} = \frac{\cosh mx}{\cosh\left[\frac{m(W - D_o)}{2}\right]}$$

ở đây $m = (U_e / k_p \delta_p)^{1/2}$ và hàm số $\cosh x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$

Phần năng lượng nhiệt do tấm hấp thụ truyền từ vị trí giữa 2 ống đến ống chất lỏng từ hai phía sẽ là:

$$-2 k_p \delta_p \left(\frac{dT_p}{dx}\right)_{x=(W-D_o)/2} dy$$

$$= 2\left(\frac{k_p \delta_p}{U_1}\right)^{1/2} \left[S - U_1 (T_{po} - T_a)\right] \tanh\left(\frac{m(W - D_o)}{2}\right) dy$$

ở đây hàm số tanhx = $\frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$

Mặt khác đoạn ống dy còn nhận được bức xạ Mặt Trời dọi tới nó và bằng:

$$D_o\,[S - U_1\,(T_{po} - T_a)]\,dy$$

Như vậy năng lượng hữu ích mà N ống nhận được trên độ dài dy sẽ là:

$$dq_u = N\left[S - U_1(T_{po} - T_a)\right]x\left[2\left(\frac{k_p\delta_p}{U_1}\right)^{1/2}\tanh\frac{m(W - D_o)}{2} + D_o\right]dy \qquad (2.40)$$

Phương trình (2.40) có thể viết dưới dạng đơn giản hơn bằng cách đưa vào đại lượng gọi là *hiệu suất cánh F*, nó được xác định bằng tỷ số của phần nhiệt do tấm hấp thụ truyền cho ống chất lỏng chia cho phần nhiệt toàn phần của tấm hấp thụ, tức là:

$$F = \frac{\tanh\left[m\left(\frac{W - D_o}{2}\right)\right]}{\left[m\left(\frac{W - D_o}{2}\right)\right]} \qquad (2.41)$$

do đó phương trình (2.40) có thể viết lại dưới dạng:

$$\frac{1}{N}\left(\frac{dq_u}{dy}\right) = \left[S - U_1(T_{po} - T_a)\right]\times\left[F(W - D_o) + D_o\right] \qquad (2.42)$$

Bây giờ xét dòng nhiệt từ tấm hấp thụ truyền cho chất lỏng. Có 3 trở nhiệt trong quá trình này, đó là:

Trở nhiệt của chất hàn ống chất lỏng vào tấm hấp thụ ;

Trở nhiệt qua chiều dày ống ;

Trở nhiệt từ mặt trong ống vào chất lỏng.

Nếu giả thiết bỏ qua trở nhiệt của ống (trở nhiệt thứ 2), ta có :

$$\frac{1}{N}\left(\frac{dq_u}{dy}\right) = \frac{(T_{po} - T_f)}{\left(\frac{\delta_a}{k_a D_o} + \frac{1}{\pi D_i h_f}\right)} \qquad (2.43)$$

ở đây : δ_a = chiều dày trung bình của lớp chất hàn;

k_a = độ dẫn nhiệt của chất hàn;

T_f = nhiệt độ chất lỏng trên yếu tố dy;

h_f = hệ số truyền nhiệt của chất lỏng.

Khi kết hợp các phương trình (2.42) và (2.43) ta có:

$$\frac{1}{N}\left(\frac{dq_u}{dy}\right) = \frac{[S - U_1(T_f - T_a)]}{U_1\left[\frac{1}{U_1[(W - D_o)F + D_o]} + \frac{\delta_a}{k_a D_o} + \frac{1}{\pi D_i h_f}\right]} \tag{2.44}$$

Nếu ta định nghĩa *thừa số hiệu suất bộ thu F'* được xác định bằng biểu thức:

$$F' = \frac{1}{WU_1\left[\frac{1}{U_1[(W - D_o)F + D_o]}\right] + \frac{\delta_a}{k_a D_o} + \frac{1}{D_i \pi h_f}} \tag{2.45}$$

và đặt vào phương trình (2.44) chúng ta có biểu thức đơn giản sau:

$$\frac{1}{N}\left(\frac{dq_u}{dy}\right) = WF'[S - U_1(T_f - T_a)] \tag{2.46}$$

Biểu thức này biểu diễn nhiệt lượng hữu ích mà mỗi đoạn ống có chiều dài đơn vị nhận được nếu tấm hấp thụ của bộ thu có nhiệt độ T_f.

2.6- THỪA SỐ THOÁT NHIỆT BỘ THU

Phân tích một chiều tiếp theo sẽ được tiến hành theo chiều dọc theo dòng chảy của chất lỏng. Phân tích này sẽ giúp tìm mối liên hệ giữa nhiệt hữu ích và nhiệt độ đầu vào của chất lỏng.

Hãy xét một yếu tố thể tích trên độ dài dy của một ống (hình 2.16).

Theo định luật 1 nhiệt động học ta có:

Độ biến thiên của entanpy của chất lỏng chảy qua yếu tố thể tích bằng nhiệt truyền cho chất lỏng trong yếu tố thể tích đó, tức là:

$$\left(\frac{m}{N}\right)C_p dT_f = \frac{1}{N}dq_u = WF'[S - U_e(T_f - T_a]dy$$

hay:

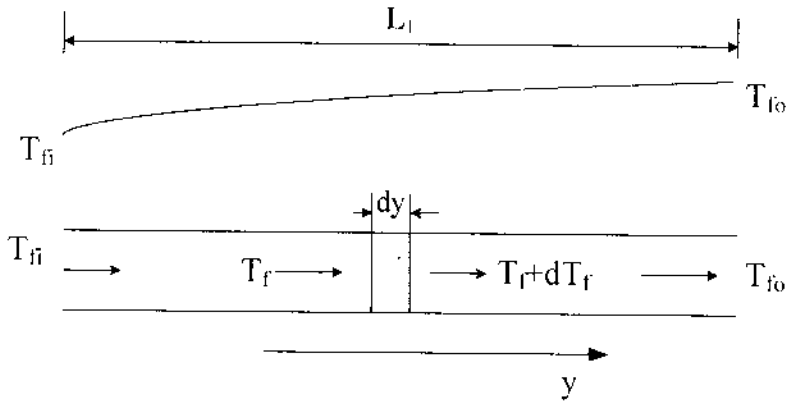
$$\frac{dT_f}{dy} = \frac{WF'U_e}{(m/N)C_p}\left[\left(\frac{S}{U_e} + T_a\right) - T_f\right] \tag{2.47}$$

Khi tích phân (2.47) và dùng điều kiện biên $y = 0$, $T_f = T_{fi}$

Ta có sự phân bố nhiệt độ:

$$\frac{\left(\frac{S}{U_e}+T_a\right)-T_f}{\left(\frac{S}{U_e}+T_a\right)-T_{fi}}=\exp\left\{\frac{-L_2F'U_ey}{mC_p}\right\} \tag{2.48}$$

(m= tổng lưu lượng chảy qua N ống trong một đơn vị thời gian).



Hình 2.16- Sự truyền nhiệt theo chiều dọc ống chất lỏng.

Khi đặt $y = L_1$, $T_f = T_{fo}$ vào (2.48) ta có:

$$\frac{\left(\frac{S}{U_e}+T_a-T_{fo}\right)}{\left(\frac{S}{U_e}+T_a-T_{fi}\right)}=\exp\left\{-\frac{F'U_eL_1L_2}{mC_p}\right\} \tag{2.49}$$

Trừ cả 2 vế (2.49) cho đơn vị và biến đổi, ta có biểu thức:

$$\frac{(T_{fo}-T_{fi})}{\left(\frac{S}{U_e}+T_a\right)-T_{fi}}=1-\exp\left\{-\frac{F'U_eA_c}{mC_p}\right\} \tag{2.50}$$

Như vậy nhiệt có ích bộ thu nhận được sẽ là :

$$q_u=mC_p(T_{fo}-T_{fi})=mC_p\left[\left(\frac{S}{U_e}+T_a\right)-T_{fi}\right]\left[1-\exp\left(-\frac{F'U_eA_c}{mC_p}\right)\right]$$

$$=\frac{mC_p}{U_e}\left[S-U_e(T_{fi}-T_a)\right]\left[1-\exp\left(-\frac{F'U_eA_c}{mC_p}\right)\right]$$

Hay : $$q_u = F_R A_c \left[S - U_e \left(T_{fi} - T_a\right)\right] \quad (2.51)$$

ở đây $$F_R = \frac{mC_p}{U_e A_c}\left[1 - \exp\left(-\frac{F' U_e A_c}{mC_p}\right)\right] \quad (2.52)$$

F_R được gọi là thừa số thoát nhiệt bộ thu. Đại lượng này là một thừa số quan trọng để thiết kế bộ thu. Biểu thức (2.51) rất thuận lợi để tính năng lượng hữu ích, vì rằng nhiệt độ vào của chất lỏng T_{fi} thường là đại lượng đã biết.

Phương trình này thường được gọi là phương trình Hottel-Whiller-Bless.

Chương 3

CÁC BỘ THU NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI HỘI TỤ

Trong chương 2 ta đã nghiên cứu các bộ thu năng lượng Mặt Trời phẳng hoạt động dựa trên hiệu ứng nhà kính. Dưới đây chúng ta sẽ nghiên cứu một loại khác của bộ thu năng lượng Mặt Trời, đó là loại hội tụ. Loại bộ thu này được ứng dụng trong trường hợp cần nhiệt độ cao từ 100°C đến 400°C hay cao hơn.

3.1- MỞ ĐẦU

3.1.1- Các tính chất chung

Việc hội tụ các tia bức xạ Mặt Trời có thể thực hiện được nếu dùng các cơ cấu gương hội tụ bằng các gương phản xạ hay các thấu kính. Hệ thống quang học này hội tụ các tia Mặt Trời vào một bộ hấp thụ có diện tích nhỏ thường được bao che xung quanh bằng một lớp kính hay các bản trong suốt. Do vậy một phần năng lượng bị hao phí khi các tia sáng Mặt Trời đi qua lớp bao che bên ngoài. Hao phí đó bao gồm các hao phí do hấp thụ và phản xạ trên các gương hay thấu kính và hao phí do cấu hình hình học trong hệ thống quang. Tổng hợp của các hiệu ứng gây ra tổn hao của hệ thống ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất quang học của bộ thu. Tuy nhiên, nhờ năng lượng được hội tụ vào một diện tích nhỏ nên hiệu suất của bộ thu hội tụ thường cao hơn hiệu suất bộ thu phẳng.

Ta cũng đã thấy rằng, ưu điểm của các bộ thu phẳng là thiết kế đơn giản và bảo dưỡng dễ dàng. Đối với bộ thu hội tụ thì lại khác. Do sự có mặt của hệ thống quang học nên bộ thu hội tụ thường đi kèm thêm bộ dõi theo Mặt Trời (Tracker) để hội tụ các tia Mặt Trời đúng diện tích cần thiết, nên việc thiết kế, tính toán và vận hành, bảo dưỡng nói chung phức tạp và khó khăn hơn.

Đối với các bộ thu không yêu cầu độ hội tụ cao thì sự định hướng bộ thu có thể chỉ cần điều chỉnh vài ba lần trong một ngày và có thể thực hiện bằng tay. Nhưng với các bộ thu yêu cầu độ hội tụ cao thì cần phải điều chỉnh sự định hướng bộ thu một cách liên tục nhờ một thiết bị gọi là bộ dõi theo Mặt Trời. Sự có mặt của các bộ dõi theo Mặt Trời này làm cho việc thiết kế, chế tạo các hệ bộ thu hội tụ phức tạp hơn nhiều. Yêu cầu bảo dưỡng cũng tăng lên. Tất cả những vấn đề này dẫn tới làm tăng chi phí hệ thống bộ thu. Một nhược điểm khác của bộ thu hội tụ là chỉ

thu được một phần nhỏ bức xạ nhiễu xạ.

Trong những năm gần đây đã có những cải tiến quan trọng đối với các hệ bộ thu hội tụ. Một số loại bộ thu đã được thương mại hóa. Đa số các bộ hội tụ này các bộ hội tụ máng parabol. Các tia sáng Mặt Trời được hội tụ lại trên *đường tiêu hội tụ*. Tại đường tiêu này nhiệt độ có thể đạt 400°C hay cao hơn.

3.1.2- Các định nghĩa

Thường có hai thuật ngữ: *bộ hội tụ và hệ thống bộ thu hay bộ thu*. Bộ hội tụ muốn chỉ hệ thống quang học có chức năng hội tụ các tia bức xạ vào bộ hấp thụ. Còn thuật ngữ hệ thống bộ thu hay bộ thu muốn nói toàn bộ hệ thống bao gồm bộ hội tụ, các tấm phủ bảo vệ và các phụ kiện khác.

Bây giờ chúng ta hãy định nghĩa các khái niệm: *độ mở, tỷ số hội tụ và góc nhận*.

a) Độ mở (aperture, ký hiệu W) là bề mặt của bộ hội tụ mà qua đó các tia bức xạ Mặt Trời đi qua để tới mặt hội tụ. Đối với các bộ hội tụ hình trụ hoặc máng parabol thì độ mở được đặc trưng bởi độ rộng, trong khi đối với bề mặt hội tụ tròn xoay thì độ mở được đặc trưng bằng đường kính mở.

b) Tỷ số hội tụ (C) là tỷ số giữa diện tích hiệu dụng của độ mở (mặt mở) chia cho diện tích bề mặt của bộ hấp thụ. Giá trị của tỷ số hội tụ biến đổi từ 1 đến vài nghìn đối với đĩa Parabol.

c) Góc nhận ($2\theta_a$) là góc giữa tia Mặt Trời và pháp tuyến của mặt mở sao cho tia Mặt Trời vẫn còn đến được bộ hấp thụ. Các bộ thu có góc nhận lớn đòi hỏi chỉ một số ít điều chỉnh định hướng bộ thu, trong lúc các bộ thu có góc nhận nhỏ yêu cầu phải điều chỉnh sự định hướng của Bộ thu liên tục.

3.1.3- Phân loại các bộ thu hội tụ

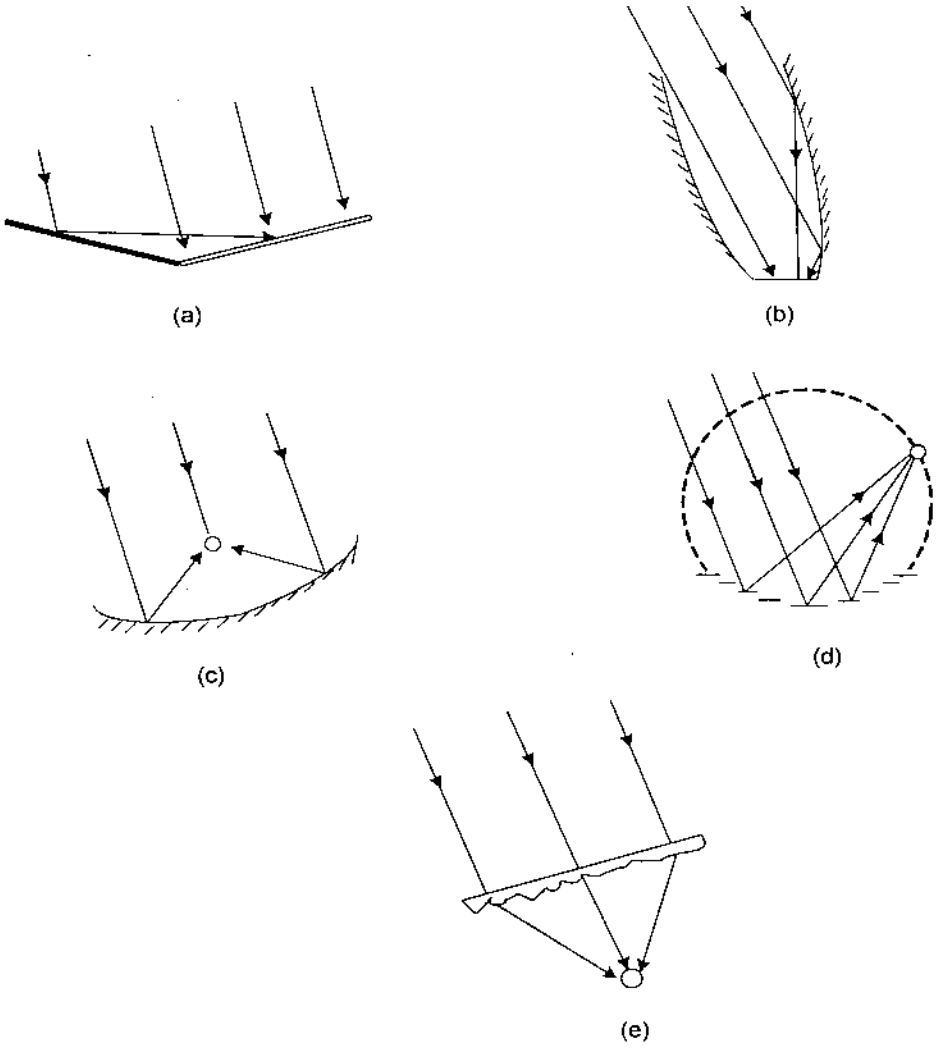
Các bộ thu hội tụ thường được phân loại theo một số cách. Có thể phân loại theo loại phản xạ dùng gương hay loại phản xạ dùng thấu kính Fresnel. Các mặt phản xạ được dùng có thể là parabol, mặt cầu hoặc mặt phẳng. Chúng có thể là mặt liên tục hay từng đoạn. Sự phân loại cũng có thể theo quan điểm ảnh hội tụ là một đường (như máng parabol) hay một điểm (ví dụ gương cầu lõm).

Tỷ số hội tụ cũng thường được dùng như là một phương pháp phân loại các bộ thu hội tụ. Vì tỷ số này một cách gần đúng xác định nhiệt độ làm việc, nên phương pháp phân loại này là tương đương với cách phân loại bộ thu theo dải nhiệt độ làm việc.

Một kiểu khác là để mô tả bộ thu là dựa theo loại thiết bị định hướng theo Mặt Trời. Phụ thuộc vào góc nhận, sự định hướng theo Mặt Trời có thể là từng đoạn, không liên tục (ví dụ một lần điều chỉnh cho một ngày hay một số ngày) hay liên tục. Hơn nữa sự định hướng có thể thực hiện trên 1 trục hay 2 trục quay.

3.1.4- Các loại bộ thu hội tụ

Một số loại bộ thu hội tụ được trình bày trên hình 3.1



Hình 3.1- Các loại bộ hội tụ.

Loại đầu tiên (hình 3.1a) là loại bộ thu hội tụ phẳng có các gương phản xạ có thể điều chỉnh được độ hội tụ các tia Mặt Trời vào tấm hấp thụ. Kiểu này dễ thiết kế, có tỷ số hội tụ chỉ cao hơn 1 một ít và chỉ được dùng để tạo ra nhiệt độ từ 20°C đến 30°C.

Loại thứ 2 (hình 3.1b) là bộ thu hội tụ parabol kết hợp (CPC). Bộ thu hội tụ gồm có các phần mặt parabol. Cũng như loại 1 loại bộ thu này không có ảnh hội tụ rõ rệt. Tỷ số hội tụ thường nằm trong khoảng từ 3 đến 10. Ưu điểm chính của loại bộ thu này là góc nhận lớn và do đó không phải điều chỉnh định hướng nhiều. Hơn nữa chỉ số hội tụ chỉ có thể đạt được giá trị cực đại ở một góc nhận tương ứng.

Một loại khác của bộ thu hội tụ (hình 3.1c) là bộ thu máng parabol, ảnh của máng là trục hội tụ của máng. Nhiều hệ thống bộ thu kiểu máng parabol này hiện nay đã được thương mại hoá.

Không như loại bộ thu máng parabol có thể quay theo Mặt Trời để hội tụ các tia sáng, loại bộ thu chỉ ra trên hình 3.1d có bộ hội tụ cố định, còn bộ hấp thụ (receiver) thì có thể chuyển động được.

Một kiểu khác của bộ hội tụ là một dãy các gương phẳng, dài và hẹp xếp một cách trật tự dọc theo một mặt hình trụ. Sự sắp xếp các gương tạo ra một ảnh đường thẳng hẹp, ảnh này chuyển động theo một đường cong như chuyển động của Mặt Trời. Đường cong này cũng giống như đường cong xếp các gương phẳng. Như vậy bộ hấp thụ chuyển động dọc theo đường cong để dõi theo Mặt Trời.

Sự hội tụ cũng có thể thực hiện nhờ dùng các thấu kính. Đa số các thiết bị đều dùng các thấu kính Fresnel như chỉ ra trên hình 3.1e. Đó là một tấm phẳng, một mặt của tấm để phẳng, còn mặt kia người ta tạo ra các rãnh cong. Các góc của các rãnh được làm sao cho các tia sáng Mặt Trời khi qua bản mỏng hội tụ lại trên một đường. Vật liệu làm thấu kính thường dùng plastic. Các bộ thu hội tụ giống như các bộ thu trên các hình 3.1c, d, e thường có tỷ số hội tụ giữa 10 và 80 và đạt được nhiệt độ 150°C đến 400°C.

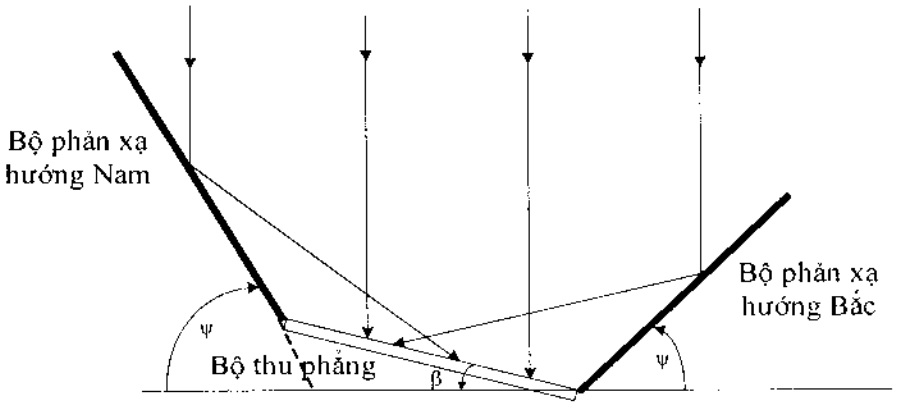
Để có tỷ số hội tụ và nhiệt độ cao hơn, cần tạo ra các bộ hội tụ điểm. Bộ thu hội tụ điểm đĩa parabol là một trong bộ hội tụ điểm. Tỷ số hội tụ của nó đạt được trong khoảng từ một vài trăm đến vài nghìn và nhiệt độ có thể đạt được 2000°C.

Tuy nhiên theo quan điểm của thiết kế cơ học thì có một giới hạn về kích thước của đĩa hội tụ và do đó lượng năng lượng đĩa nhận được cũng bị giới hạn. Các đĩa thương mại có đường kính lên tới 17m. Để thu được lượng năng lượng lớn tại một điểm người ta đưa ra mô hình bộ thu trung tâm. Trong trường hợp này bức xạ trực xạ bị phản xạ từ một số rất lớn các gương phản xạ được điều chỉnh một cách độc lập để các tia phản xạ hội tụ vào một bộ thu đặt ở trên một tháp cao dựng ở trung tâm.

3.2- BỘ THU PHẲNG CÓ CÁC GƯƠNG PHẢN XẠ PHẲNG

Bộ thu phẳng có các gương phản xạ phẳng là một bộ thu hội tụ không có ảnh hội tu rõ rệt. Với một bộ thu đơn (một cái riêng rẽ) người ta có thể dùng 4 gương ở xung quanh. Nhưng

với một dãy các bộ thu phẳng người ta người ta chỉ có thể lắp 2 dãy gương phản xạ, trong đó một dãy hướng Bắc và dãy kia hướng Nam (hình 3.2). Các gương phản xạ có thể phản xạ bức xạ trong một phạm vi góc tới nào đó của tia Mặt Trời cũng như phản xạ một phần bức xạ nhiễu xạ. Tỷ số hội tụ tương đối thấp và thông thường nằm trong khoảng từ 1 đến 4. Nhiệt độ đạt được từ 130°C đến 140°C. Một ưu điểm của loại bộ thu này là có thể hội tụ một phần thành phần nhiễu xạ trong bức xạ Mặt Trời mà không bị lãng phí hoàn toàn.



Hình 3.2- Bộ hội tụ gương phẳng.

Trong thực tế người ta chỉ dùng một dãy gương phản xạ hướng Bắc cho một dãy bộ thu phẳng vì dễ điều chỉnh bằng tay các gương hơn là dãy gương hướng Nam. Góc nghiêng của các gương thường được điều chỉnh một lần trong một số ngày.

Đối với trường hợp dãy gương phản xạ hướng Bắc có kích thước bằng kích thước bộ thu phẳng thì góc nghiêng ψ của các gương phản xạ sẽ là:

$$\psi = (\pi - \beta - 2\varphi + 2\delta)/3 \qquad (3.1)$$

ở đây β = góc nghiêng của bộ thu phẳng. Phương trình (3.1) thu được với giả thiết rằng các gương phản xạ được điều chỉnh sao cho các tia Mặt Trời tới cạnh trên của các gương lúc 12 giờ (giờ địa phương) bị phản xạ tới cạnh trên của bộ thu.

Nếu ta giả thiết rằng địa phương lắp đặt bộ thu ở Hà Nội ($\varphi = 21^o$) và góc nghiêng của bộ thu $\beta = \varphi = 21^o$ thì ψ biến thiêng trong khoảng $23{,}36^o$ (với $\delta = -23{,}45^o$) và $54{,}63^o$ (khi $\delta = 23{,}45^o$).

Tại các thời gian khác buổi trưa (12:00 giờ) chỉ có một phần bức xạ tới các gương phản xạ tới được bộ thu, còn phần khác bị phản xạ ra ngoài.

3.3- BỘ THU MÁNG PARABOL

3.3.1- Mô tả

Bộ thu máng trụ parabol cũng còn được gọi là bộ thu hội tụ đường thẳng hay bộ thu máng parabol. Các thành phần chính của bộ thu gồm có: (1) - một ống hấp thụ đặt trên đường hội tụ của máng phản xạ, trong ống có chất lỏng để thu nhiệt; (2) – một ống trong suốt đồng trục với ống chất lỏng bao bọc phía ngoài để bảo vệ ống hấp thụ và (3)- bộ thu hội tụ parabol.

Diện tích thu bức xạ của các bộ thu hội tụ thương mại nằm trong khoảng từ 1 đến 6 m^2 và chiều dài lớn hơn chiều rộng của tiết diện thu. Tỷ số hội tụ đạt được trong khoảng từ 10 đến 80 và góc mở (góc giữa đường nối đường hội tụ của máng đến mép máng và đường nối đường hội tụ của máng đến đỉnh máng). ϕ_r từ 70° đến 120°. Ống hấp thụ thường được làm bằng thép hoặc đồng và có đường kính từ 2,5 đến 5cm. Nó thường được phủ một lớp sơn đen hấp thụ nhiệt. Đối với bộ thu chất lượng cao ống hấp thụ được phủ một lớp chất hấp thụ chọn lọc như crom (Cr) đen và khoảng không giữa ống hấp thụ và ống thuỷ tinh che bên ngoài được hút chân không..

Chất lỏng dùng để tải nhiệt trong ống hấp thụ được lựa chọn tuỳ theo nhiệt độ yêu cầu. Thông thường người ta dùng các chất lỏng hữu cơ. Do độ dẫn nhiệt của chất lỏng này thấp nên hệ số truyền nhiệt của chất lỏng cũng thấp. Vì vậy, các thiết bị tiên tiến có dạng các băng kép hoặc các vòi đồng tâm (nó tạo ra các ống vành khăn cho chất lỏng đi qua) để làm tăng thêm giá trị của hệ số truyền nhiệt.

Bề mặt phản xạ nói chung là thuỷ tinh được mạ bạc phía sau và được uốn cong. Các tấm phim nhôm điện phân và được anot hoá và cũng như các tấm phim acrylic phủ bạc thường cũng để dùng làm mặt phản xạ.

Bộ phản xạ được cố định trên một kết cấu nhẹ làm bằng nhôm. Việc thiết kế tốt hệ thống kết cấu này để nó có thể chuyển động được nhẹ nhàng là rất quan trọng. Một số thông số cần phải chú ý khi thiết kế hệ thống kết cấu này là những thông số giữ cho hệ thống không bị biến dạng do trọng lượng của nó và hệ thống có thể chịu được các lực đẩy của gió.

3.3.2- Sự định hướng và các loại điều khiển định hướng

Một bộ thu máng parabol được định hướng sao cho trục hội tụ của nó hoặc theo hướng Đông – Tây hoặc Bắc – Nam. Theo định hướng Đông – Tây, trục hội tụ sẽ nằm ngang, còn theo định hướng Bắc – Nam trục hội tụ có thể nằm ngang hay nghiêng một góc nào đó. Các loại thiết bị điều khiển định hướng bộ thu theo Mặt Trời gồm có:

Kiểu 1: Trục hội tụ theo hướng Đông – Tây và nằm ngang, điều chỉnh một lần

Bộ thu sẽ quay xung quanh một trục Đông – Tây và được điều chỉnh một lần trong một

ngày sao cho tia Mặt Trời vuông góc với mặt mở của bộ thu vào lúc giữa trưa của ngày đó.

Với kiểu này, mặt mở bộ thu là một bề mặt ảo với góc azimuth $\gamma = 0^o$ hoặc $\gamma = 180^o$. Trường hợp $\gamma = 0^o$ xuất hiện khi $(\varphi - \delta) > 0$ và $\gamma = 180^o$ xuất hiện khi $(\varphi - \delta) < 0$. Để xác định góc nghiêng β của mặt mở ta thay điều kiện lúc giữa trưa, tức là $\omega = 0$, $\theta = 0$ và phương trình tính $\cos\theta$ (θ là góc tới của tia Mặt Trời tới một mặt nào đó) và thu được:

$$\beta = (\varphi - \delta) \text{ khi } \gamma = 0^o \quad (3.2a)$$

$$\beta = (\delta - \varphi) \text{ khi } \gamma = 180^o \quad (3.2b)$$

Góc tới của tia Mặt Trời (trực xạ) đối với mặt mở trong một ngày sẽ tính được nếu đặt (3.2a) và (3.2b) vào phương trình (1.5) chương 1 (tính $\cos\theta$). Đối với trường hợp $\gamma = 0^o$ và $\gamma = 180^o$ ta nhận được:

$$\cos\theta = \sin^2\delta + \cos^2\delta \cos\omega \quad (3.3)$$

Kiểu 2: Trục hội tụ theo hướng Đông – Tây và nằm ngang điều chỉng liên tục

Bộ thu được làm quay xung quanh trục nằm ngang theo hướng Đông – Tây và được điều chỉnh liên tục sao cho tia trực xạ có góc tới nhỏ nhất đối với mặt mở tại mọi thời điểm trong ngày.

Trong trường hợp này, mặt mở cũng là một mặt ảo có góc $\gamma = 0^o$ hoặc $\gamma = 180^o$. Phương trình (3.3) áp dụng cho $\gamma = 0^o$ và $\gamma = 180^o$. Để tìm điều kiện sao cho θ đạt cực tiểu, ta đạo hàm phương trình (3.3) khi đã đặt γ vào đối với β và cho bằng zero (= 0). Khi đó ta được :

$$tg(\varphi - \beta) = (tg\delta/\cos\omega) \quad \text{đối với } \gamma = 0^o \quad (3.4a)$$

$$tg(\varphi + \beta) = (tg\delta/\cos\omega) \quad \text{đối với } \gamma = 180^o \quad (3.4b)$$

Các phương trình (3.4a) và (3.4b) có thể dùng để tính góc nghiêng β của mặt mở. Phương trình (3.4a) tương ứng với $\gamma = 0^o$ được dùng để tính β nếu giá trị góc azimuth γ_s nhỏ hơn 90°, còn phương trình (3.4b) tương ứng với $\gamma = 180^o$ được dùng nếu γ_s lớn hơn 90° (γ_s là góc azimuth Mặt Trời là góc nằm trong mặt nằm ngang giữa đường hướng Nam và hình chiếu của tia Mặt Trời tới điểm tính góc γ_s).

Đặt (3.4a) và (3.4b) vào phương trình tính góc tới (3.3) ta thu được đối với cả hai trường hợp $\gamma = 0^o$ và $\gamma = 180^o$:

$$\cos\theta = (1 - \cos^2\delta \sin^2\omega)^{1/2} \quad (3.5)$$

Kiểu 3: Trục hội tụ nằm ngang theo hướng Bắc- Nam

Bộ thu được làm quay xung quanh trục nằm ngang Bắc – Nam và được điều chỉnh liên

tục sao cho các tia trực x_i tạo các góc tới cực tiểu đối với mặt mở tại mọi thời điểm.

Theo kiểu này góc azimuth bề mặt $\gamma = +90^o$ trước buổi trưa và $\gamma = -90^o$ sau buổi trưa. Như vậy, trước buổi trưa phương trình (3.3) trở thành:

$$\cos\theta = (\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega) \cos\beta + \cos\delta \sin\omega \sin\beta \qquad (3.6)$$

Để tìm điều kiện để θ thoả mãn điều kiện cực tiểu ta đạo hàm (3.6) đối với β và sau đó cho bằng 0 ta sẽ thu được:

$$\beta = tg^{-1}\left[\frac{\cos\delta\sin\omega}{\sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega}\right] \qquad (3.7)$$

Phương trình (3.7) dùng để xác định góc nghiêng β của mặt mở đối với khoảng thời gian buổi sáng (trước buổi trưa). Khi thay (3.7) vào (3.6) ta có:

$$\cos\theta = [(\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega)^2 + \cos^2\delta \sin^2\omega\ ]^{1/2} \qquad (3.8)$$

Sau buổi trưa, $\gamma = -90^o$ ta thu được:

$$\beta = tg^{-1}\left[\frac{-\cos\delta\sin\omega}{\sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega}\right] \qquad (3.9)$$

$$\cos\theta = [(\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega)^2 + \cos^2\delta \sin\omega\ ]^{1/2}$$

Kiểu 4: Trục hội tụ theo hướng Bắc – Nam nhưng nghiêng một góc cố định bằng vĩ độ nơi đặt bộ thu

Như vậy trục hội tụ song song với trục của Quả Đất (hình 3.3). Bộ thu được làm cho quay xung quanh một trục song song với trục Quả Đất với vận tốc góc bằng và ngược hướng đối với vận tốc góc của qủa đất xung quanh trục của nó (115°/giờ). Nó được điều chỉnh sao cho lúc giữa trưa mặt mở của bộ thu là một mặt nghiêng hướng Nam. Như vậy, khi đặt $\beta = \varphi$ và $\omega = 0$ vào (3.6) (phương trình tính $\cos\theta$ khi $\gamma = 0$) ta thu được:

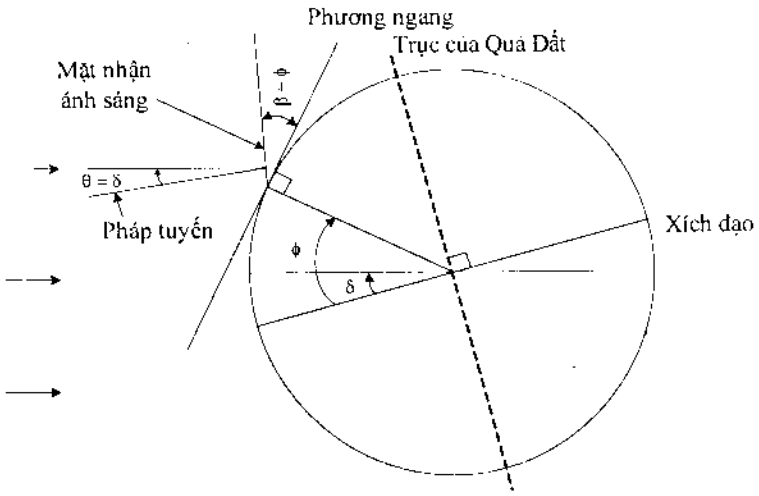
$$\theta = \delta \qquad (3.10)$$

Tại mọi thời điểm, vì Bộ thu quay với tốc độ góc bằng tốc độ góc của Quả Đất quay xung quanh trục của nó nên phương trình (3.10) luôn luôn đúng.

Kiểu 5: Trục hội tụ định hướng Bắc – Nam và nghiêng một góc

Bộ thu được làm quay liên tục (nhưng vận tốc góc không phải là như nhau) xung quanh một trục song song với trục hội tụ cũng như xung quanh một trục nằm ngang vuông góc với trục kia, và được điều chỉnh sao cho tia Mặt Trời tới vuông góc với mặt mở ở mọi thời điểm.

Do đó dễ dàng thấy $\cos\theta = 1$ và vào lúc giữa trưa góc nghiêng $\beta = [\varphi - \delta]$ (3.11)



Hình 3.3- Bộ hội tụ đặt nghiêng một góc cố định bằng vĩ độ nơi đặt bộ thu.

Dưới đây chúng ta sẽ so sánh lượng năng lượng Mặt Trời mà Bộ thu nhận được trong một ngày đối với các kiểu định hướng đã trình bày ở trên qua một ví dụ bằng số sau đây:

Ví dụ 3.1- Một bộ thu hội tụ máng parabol được đặt ở vĩ độ $\varphi = 28{,}58^o$N, kinh độ $77{,}20^o$E. Hãy so sánh bức xạ trực xạ tới trên $1m^2$ của mặt mở của bộ thu đó từ lúc 6:00 đến 18:00 (giờ địa phương) vào ngày 10/ 6 đối với 5 kiểu định hướng nói trên. Giá trị cường độ trực xạ được cho trong bảng 3.1 sau.

Giải:

- Vào ngày 10/ 6 : n = 161 do đó $\delta = 23{,}012^o$

- Áp dụng phương trình (1.7, chương 1) chúng ta tính ví dụ cho trường hợp lúc 10.30, ta có: lúc 10.30, $\omega = 22{,}5^o$

$$\cos\theta_z = \sin 28{,}58^o \sin 23{,}012^o + \cos 28{,}58^o \cos 23{,}012^o \cos 22{,}5^o = 0{,}9338$$

Đối với kiểu 1: Từ phương trình (3.3):

$$\cos\theta = \sin^2(23{,}012^o) + \cos^2(23{,}012^o)\cos 22{,}5^o = 0{,}9355$$

do đó thừa số hiệu chính góc r_b đối với mặt mở bằng:

$$r_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} = \frac{0{,}9355}{0{,}9338} = 1{,}002$$

Cường độ tia trực xạ tới vuông góc trên mặt mở sẽ là:

$$S = I_b r_b = 495 \times 1{,}002 = 495{,}9 \text{ W/m}^2$$

Bằng cách tính tương tự cho các kiểu định hướng khác chúng ta có kết quả như bảng 3.2 sau.

***Bảng 3.1*- Cường độ trực xạ trong các đoạn giờ trong ngày**

Thời gian (giờ)	I_b (W/m^2)	Thời gian (giờ)	I_b (W/m^2)
6.30	110	12.30	523
7.30	240	13.30	495
8.30	333	14.30	445
9.30	424	15.30	322
10.30	495	16.30	220
11.30	550	17.30	118

Các giá trị $I_b\gamma_b$ thu được trong cả ngày cho trong bảng 3.3. Tổng năng lượng Mặt Trời từ 6:00 đến 18:00 thu được bằng cách cộng các giá trị $I_b\gamma_b$ trong các đoạn giờ . Ta giả thiết rằng giá trị tức thời cũng là giá trị trung bình đối với khoảng thời gian trong một giờ. Như ta đã thấy trong bảng 3.3, kiểu 5 cho giá trị tổng năng lượng Mặt Trời trong một ngày là lớn nhất. Điều này dễ hiểu vì trong kiểu 5 bộ thu được định hướng theo Mặt Trời trên 2 trục. Các kiểu khác cho kết quả nhỏ hơn. Kết quả thu được trong ví dụ này phụ thuộc vào vĩ độ đặt bộ thu, ngày trong năm và cường độ bức xạ Mặt Trời.

Trong thực tế, các kiểu 2, 3 và 4 là thông dụng nhất, kiểu 5 không được sử dụng nhiều vì tính phức tạp của các chuyển động theo 2 trục. Kiểu 1 không được sử dụng vì nó không tạo ra được ảnh hội tụ trên trục hội tụ. Theo quan điểm thiết kế, các kiểu 2 và 3 là đơn giản hơn so với các kiểu 4 và 5. Vì trục hội tụ nằm ngang, nên người ta dễ dàng ghép các bộ thu nối tiếp (đầu ra của bộ thu này ghép với đầu vào của bộ thu tiếp theo) để có thể điều khiển cả hệ thống nhờ một cơ cấu trục quay. Diện tích mặt bằng các kiểu này cũng tiết kiệm hơn.

***Bảng 3.2*- Năng lượng tia trực xạ tới trên mặt mở bộ hội tụ đối với các kiểu định hướng khác nhau**

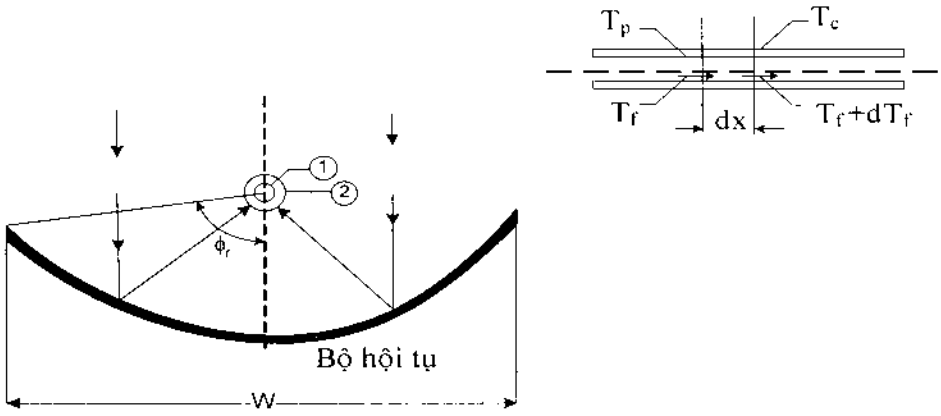
	Kiểu định hướng			
	Kiểu 2	Kiểu 3	Kiểu 4	Kiểu 5
cosθ	0,9359	0,9980	0,9204	1,000
γ_b	1,0023	1,0688	0,9857	1,0709
$I_b\gamma_b$ (W/m^2)	496,1	529,0	487,9	530,1

Bảng 3.3- **So sánh các kiểu điều khiển**

Giờ địa phương (h)	$I_b r_b$ (W/m^2)				
	Kiểu 1	Kiểu 2	Kiểu 3	Kiểu 4	Kiểu 5
6.30	99,1	153,8	360,4	346,1	376,1
7.30	230,7	254,5	476,1	445,1	483,6
8.30	327,9	335,0	489,0	451,3	490,4
9.30	422,3	424,0	511,9	471,2	511,9
10.30	495,9	496,1	529,0	487,9	530,1
11.30	552,4	552,4	554,0	512,2	556,4
12.30	525,3	525,3	526,9	487,0	529,1
13.30	495,9	496,1	529,0	487,9	530,1
14.30	443,2	445,0	537,2	494,5	537,2
15.30	317,0	323,9	472,8	436,4	474,2
16.30	211,4	233,2	436,5	408,0	443,3
17.30	106,3	165,0	386,6	371,3	403,4
Tổng số (kWh/m^2)	4,227	4,404	5,809	5,399	5,866

3.3.3- Đánh giá hiệu suất

Ta hãy xem xét cụ thể một bộ thu hội tụ kiểu máng parabol có chiều rộng mặt mở W, chiều dài L và góc mở ϕ_r (hình 3.4). Ống hấp thụ có đường kính trong D_i, đường kính ngoài D_o; ống thuỷ tinh bao quanh ống hấp thụ có đường kính trong D_{ci} và đường kính ngoài D_{co}. Chất lỏng chảy trong ống hấp thụ với lưu lượng m, nhiệt dung đẳng áp C_p, nhiệt độ chất lỏng vào T_{fi} và nhiệt độ của chất lỏng ra T_{fo}.



Hình 3.4- Bộ thu hội tụ kiểu máng Parabol:
1. ống hấp thu; 2. ống thuỷ tinh bao che.

Bộ thu hoạt động theo một trong các kiểu đã nói ở trong mục 3.3.2 và bức xạ Mặt Trời trực xạ tới vuông góc với mặt mở của bộ thu có giá trị $I_b r_b$. Trong một số kiểu định hướng, các tia Mặt Trời tới dưới một góc nào đó và sẽ tạo ra sự hội tụ vượt ra ngoài đường hội tụ của máng. Ta giả thiết rằng ống hấp thụ là đủ dài để nhận được ảnh hội tụ đó. Trong thực tế điều này có nghĩa là ống hội tụ có thể dài hơn một ít (khoảng 10%) so với bộ thu và do đó dòng năng lượng Mặt Trời sẽ không đều nhau dọc theo ống hấp thụ. Để đơn giản cho việc phân tích chúng ta bỏ qua phần dài hơn của ống hấp thụ và coi phân bố năng lượng dọc theo chiều dài ống là đồng đều. Chúng ta cũng bỏ qua chênh lệch nhiệt độ trên các thành ống thuỷ tinh bao bên ngoài và ống hấp thụ.

Tỷ số hội tụ của bộ thu được cho bởi:

C = Diện tích hiệu dụng của mặt mở /Diện tích ống hấp thụ

$$C = \frac{(W - D_o)L}{\pi D_o L} = \frac{(W - D_o)}{\pi D_o} \qquad (3.12)$$

Phương trình cân bằng năng lượng trên phần dx của ống hấp thụ ở điểm cách đầu nước vào x sẽ là:

$$dq_u = [I_b r_b (W - D_o)\, \rho\gamma(\tau\alpha)_b + I_b r_b D_o\, (\tau\alpha)_b - U_c \pi D_o \times (T_p - T_a)]\, dx \qquad (3.13)$$

trong đó : dq_u - năng lượng có ích nhận được trên chiều dài dx ;

ρ - hệ số phản xạ của bề mặt bộ thu ;

γ - thừa số nhận = phần năng lượng bức xạ hội tụ vào ống hấp thụ ;

$(\tau\alpha)_b$ - giá trị trung bình của tích truyền qua × hấp thụ đối với tia trực xạ ;

U_c - hệ số hao phí tổng ;

T_p - nhiệt độ ống hấp thụ ;

T_a - nhiệt độ môi trường.

Số hạng thứ nhất trong vế phải của phương trình (6.13) là phần năng lượng của bức xạ trực xạ bị ống hấp thụ hấp thụ sau khi phản xạ từ mặt máng parabol ; còn số hạng thứ hai là phần năng lượng của bức xạ trực xạ đến trực tiếp trên ống hấp thụ.

Số hạng thứ hai là nhỏ hơn so với thứ hạng thứ nhất nhưng không thể bỏ qua đối với các bộ thu có tỷ số hội tụ nhỏ. Số hạng thứ ba là phần năng lượng mất mát do đối lưu.

Nếu bây giờ ta đưa vào ký hiệu dòng năng lượng S được xác định như sau :

$$S = I_b r_b \rho\alpha\, (\tau\alpha)_b + I_b r_b\, (\tau\alpha)_b\, \frac{D_o}{W - D_o} \qquad (3.14)$$

Thì phương trình (3.13) sẽ trở thành:

$$dq_u = [S - \frac{U_l}{C}(T_p - T_a)](W - D_o)\,dx \tag{3.15}$$

và biểu diễn nhiệt có ích dưới dạng:

$$dq_u = h_f \pi D_i (T_p - T_f)\,dx \tag{3.16}$$

$$= m\,C_p\,dT_f \tag{3.17}$$

ở đây h_f là hệ số truyền nhiệt trên mặt trong của ống hấp thụ và T_f = nhiệt độ của chất lỏng ở điểm quan sát. Kết hợp các phương trình (3.15) và (3.16) ta thu được:

$$dq_u = F'\,[S - \frac{U_l}{C}(T_f - T_a)](W - D_o)\,dx \tag{3.18}$$

F' được gọi là *thừa số hiệu suất của bộ thu* và được xác định bằng biểu thức;

$$F' = \frac{1}{U_l\left[\frac{1}{U_l} + \frac{D_o}{D_i h_f}\right]} \tag{3.19}$$

kết hợp các phương trình (3.17) và (3.18) ta thu được phương trình vi phân:

$$\frac{dT_f}{dx} = \frac{F'\pi D_o U_l}{mC_p}\left[\frac{CS}{U_l} - (T_f - T_a)\right] \tag{3.20}$$

Khi tích phân (3.20) và dùng các điều kiện biên:

Tại x = 0, $T_f = T_{fi}$, ta sẽ có:

$$\frac{\left(\frac{CS}{U_l} + T_a\right) - T_f}{\left(\frac{CS}{U_l} + T_a\right) - T_{fi}} = \exp\left\{-\frac{F'\pi D_o U_l x}{mC_p}\right\} \tag{3.21}$$

Khi chất lỏng chảy ra khỏi ống tại x = L thì nhiệt độ của nó $T_f = T_{fo}$. Đặt điều kiện này vào (3.21) và biến đổi ta có :

$$\frac{(T_{fo} - T_{fi})}{\frac{CS}{U_l} + T_a - T_{fi}} = 1 - \exp\left\{-\frac{F'\pi D_o U_l L}{mC_p}\right\} \tag{3.22}$$

như vậy nhiệt có ích hệ thống nhận được sẽ là:

$$q_u = mC_p(T_{fo} - T_{fi}) = mC_p\left[\frac{CS}{U_l} + T_a - T_{fi}\right]\left[1 - \exp\left\{-\frac{F'\pi D_o U_l L}{mC_p}\right\}\right]$$

$$= F_R(W - D_o)L\left[S - \frac{U_l}{C}(T_{fi} - T_a)\right] \tag{3.23}$$

Trong đó F_R được gọi là *thừa số thoát nhiệt* và được xác định bằng biểu thức:

$$F_R = \frac{mC_p}{\pi D_o L U_l}\left[1 - \exp\left\{-\frac{F'\pi D_o U_l L}{mC_p}\right\}\right] \tag{3.24}$$

Hiệu suất tức thời của bộ thu η sẽ được xác định bằng biểu thức:

$$\eta_i = \frac{q_u}{(I_b r_b + I_d r_d)WL} \tag{3.25}$$

Nếu bỏ qua thành phần bức xạ phản xạ từ nền (ρ = 0) thì hiệu suất tức thời đối với bức xạ trực xạ sẽ là:

$$\eta_i = \frac{q_u}{I_b r_b WL} \tag{3.26}$$

3.2.4- Hệ số hao phí tổng và các hiệu chính truyền nhiệt

Trong mục này ta sẽ đưa ra phương pháp tính hệ số hao phí tổng U_l và các số hiệu chính cần thiết để tính toán các hệ số truyền nhiệt. Sự tính toán U_l dựa trên các hao phí do dẫn nhiệt đối lưu và do bức xạ nhiệt thứ cấp giống như cách đã tính hệ số hao phí nhiệt U_t lên phía trên trong bộ thu phẳng. Ta coi ống hấp thụ và ống thuỷ tinh bao quanh là các ống hình trụ đồng tâm và đủ dài. Với giả thiết dòng nhiệt hao phí từ ống hấp thụ đến ống thuỷ tinh bên ngoài và từ ống thuỷ tinh ra môi trường là dòng dừng, chúng ta có:

$$\frac{q_l}{L} = h_{pc}(T_p - T_c)\pi D_o + \frac{\sigma\pi D_o(T_p^4 - T_c^4)}{\left\{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{D_o}{D_{ci}}\left[\frac{1}{\varepsilon_c} - 1\right]\right\}} \tag{3.27}$$

$$= h_{co}(T_c - T_a)\pi D_{co} + \sigma\pi D_{co}\varepsilon_c(T_c^4 - T_{sky}^4) \tag{3.28}$$

trong đó: $\frac{q_l}{L}$ - nhiệt hao phí trên đơn vị chiều dài ống ;

h_{pc} - hệ số truyền nhiệt đối lưu giữa ống hấp thụ và ống thuỷ tinh bao che bên ngoài;

T_p - nhiệt độ trung bình của ống hấp thụ;

T_c - nhiệt độ của ống thuỷ tinh.

Các phương trình (3.27) và (3.28) tạo thành hệ 2 phương trình phi tuyến. Nếu cho biết h_{pc} và h_{ω} thì giải ra ta sẽ tìm được $\frac{q_l}{L}$ và T_c.

Hệ số truyền nhiệt giữa ống hấp thụ và ống thuỷ tinh bao quanh

Hệ số truyền nhiệt đối lưu tự nhiên h_{pc} đối với khoảng không gian kín giữa các ống hấp thụ và ống bao quanh nằm ngang, đồng tâm tính được khi dùng công thức Raithby và Hollands sau đây:

$$\frac{K_{eff}}{k} = 0{,}317(Ra^*)^{1/4} \tag{3.29}$$

ở đây K_{eff} - độ dẫn nhiệt hiệu dụng được định nghĩa là hệ số dẫn nhiệt của không khí tĩnh giữa hai ống gây ra sự truyền nhiệt từ ống hấp thụ đến ống thuỷ tinh bao quanh.

Ra* - số Rayleigh liên hệ với số Rayleigh thông thường bằng phương trình:

$$\left(Ra^*\right)^{1/4} = \frac{\ln(D_{ci}/D_o)}{b^{3/4}\left(\frac{1}{D_o^{3/5}} + \frac{1}{D_{ci}^{3/5}}\right)^{5/4}} . R_a^{1/4} \tag{3.30}$$

ở đây $b = (D_{ci} - D_o)/2$ là độ dày của lớp không khí giữa 2 ống; các tính chất được đánh giá ở nhiệt độ trung bình $(T_p + T_c)/2$; k = hệ số dẫn nhiệt. Nói chung $k_{eff} > k$. Vì vậy tỷ số (k_{eff}/k) đặt bằng 1 nếu dùng phương trình (3.29) có giá trị nhỏ hơn 1.

Liên hệ giữa h_{pc} và k_{eff} có thể tìm được bằng cách cho các biểu thức hệ số trao đổi nhiệt trên đơn vị dài và k_{eff} bằng nhau. Khi đó ta có:

$$\frac{2\pi k_{eff}}{\ln(D_{ci}/D_o)}(T_p - T_c) = h_{pc}\pi D_o(T_p - T_c)$$

$$h_{pc} = \frac{2k_{eff}}{D_o \ln(D_{ci}/D_o)} \tag{3.31}$$

Các giới hạn khi dùng biểu thức (3.29) là $Ra^* < 10^7$ và $b < 0{,}3D_o$.

Hệ số truyền nhiệt trên mặt ngoài của ống thuỷ tinh bao quang ống hấp thụ

Hệ số truyền nhiệt từ mặt ngoài của ống thuỷ tinh h_{ω} cũng có thể tính được dùng biểu thức sự hiệu chính dựa trên số liệu của Hilbert:

$$N_u = C_1 R_1^n \tag{3.32}$$

ở đây C_1 và n là các hằng số có giá trị như sau:

Đối với $40 < R_l < 4\,000$, $C_l = 0{,}615$, $n = 0{,}466$

$4\,000 < R_l < 40\,000$, $C_l = 0{,}174$, $n = 0{,}618$

$40\,000 < R_l < 400\,000$, $C_l = 0{,}0239$, $n = 0{,}805$

D_{cu} là đường kính đặc trưng cũng được dùng trong phương trình (3.32). Các tính chất được đánh giá ở nhiệt độ trung bình $(T_p + T_a)/2$.

Như đã nhấn mạnh ở trên, phương trình (3.32) đã thu được khi cường độ gió xoáy là nhỏ. Trong thực tế, cường độ gió xoáy thổi trên ống thuỷ tinh có thể là đáng kể. Do đó có một sai số nào đó đối với h_ω và giá trị tính từ (3.32) có thể thấp hơn giá trị thực từ 10 ÷15%. Nhưng sai số này của h_ω chỉ làm cho hệ số hao phí nhiệt toàn phần sai lệch chỉ khoảng 1% hoặc 2%.

Hệ số truyền nhiệt trên bề mặt trong của ống hấp thụ

Hệ số truyền nhiệt đối lưu h_f ở mặt trong của ống hấp thụ có thể tính được nếu giả thiết rằng dòng chất lỏng chảy trong ống là hoàn toàn đầy. Giả thiết này là hợp lý vì tỷ số độ dài ống L và đường kính của nó D_i, (L/Di), là lớn và thông thường có giá trị khoảng 20. Nếu số Reynolds nhỏ hơn 2000, thì dòng chảy là chảy theo lớp và hệ số truyền nhiệt có thể tính được từ phương trình:

$$N_u = 3{,}66 \tag{3.33}$$

Mặt khác, nếu số Reynolds > 2000 thì dòng chảy là dòng chảy rối và hệ số truyền nhiệt có thể tính được từ phương trình Ditus – Boelter đã biết:

$$N_u = 0{,}023 R_e^{0,8} . P_r^{0,4} \tag{3.34}$$

Kích thước đặc trưng dùng để tính N_u và R_e trong các phương trình (3.33) và (3.34) là D_i. Các tính chất được đánh giá tại nhiệt độ trung bình $(T_{lt} + T_{lo})/2$. Cần chú ý rằng phương trình (3.33) và(3.34) chỉ có giá trị để tính toán h_f đối với bộ thu phẳng dùng chất lỏng.

Trong phần lớn các trường hợp, lưu lượng chất lỏng m là nhỏ và dòng chảy là chảy lớp, vì vậy người ta sẽ dùng phương trình (3.33). Hệ quả là h_f có giá trị nhỏ vì để phù hợp với giá trị của F_R. Điều này càng đúng nếu chất lỏng sử dụng trong bộ thu là dầu dẫn nhiệt. Các chất dầu này có điểm sôi cao, nhưng lại có độ dẫn nhiệt thấp và số Prandtl (Pr) cao. Trong những trường hợp như thế người ta thường áp dụng kỹ thuật gia tăng để làm tăng hệ số truyền nhiệt. Một trong các kỹ thuật đơn giản nhất là sử dụng một băng có độ rộng D_i lắp vào dọc tất cả mặt trong của ống hấp thụ. Hong và Bergles đã đưa ra sự hiệu chính sau đây đối với trường hợp này:

$$N_u = 5{,}172\left[1 + 0{,}005484\left\{P_r\left(R_e / X\right)^{1,78}\right\}^{0,7}\right]^{0,5} \tag{3.35}$$

ở đây : X - tỷ số băng quấn trong ống hấp thụ $X = H/D_i$.

Với H - độ dài của băng để quấn được 180° ở mặt trong ống.

Độ dài đặc trưng dùng để tính N_u và R_e là D_i. Những tính toán dùng công thức (3.35) cho thấy rằng, việc sử dụng một băng quấn mặt trong ống làm tăng rất đáng kể hệ số truyền nhiệt nếu số Prandtl có giá trị cao. Đồng thời, sự giảm áp suất không dẫn đến sự tăng với cùng tỷ lệ. Sự giảm áp suất có thể tính được từ sự hiệu chính sau đây dựa trên các công trình của Date và Singham:

$$fR_e = 38{,}4\,(R_e/X)^{0{,}06} \qquad \text{đối với } 6{,}7 \le (R_e/X) \le 100$$

$$= C_2\,(R_e/X)^{0{,}3} \qquad \text{đối với } (R_e/X) > 100 \qquad (3.36)$$

ở đây f là thừa số tỷ lệ;

$$C_2 = 0{,}8201X - 2{,}1193X^2 + 0{,}2108X^3 - 0{,}0069X^4$$

Ví dụ 3.2. Hãy tính hệ số tổn hao toàn phần U_t đối với bộ thu kiểu máng parabol. Bộ thu bao gồm một ống hấp thụ phủ chất hấp thụ chọn lọc và một ống thuỷ tinh bao bọc phía ngoài. Cho biết các số liệu sau:

Đường kính trong của ống hấp thụ D_i = 7,5cm, đường kính ngoài D_o = 8,1cm.

Đường kính trong ống thuỷ tinh D_{ci} = 14,4cm, đường kính ngoài D_{co} = 15cm.

Hệ số bức xạ của thuỷ tinh $\varepsilon_c = 0{,}15$.

Nhiệt độ trung bình của ống hấp thụ T_p = 170°C.

Nhiệt độ môi trường T_a = 25°C.

Tốc độ gió V = 4m/s.

<u>*Giải:*</u> Khi thay các gía trị cho ở trên vào PT (3.27) và (3.28) ta thu được:

$$\frac{q_t}{L} = h_{pc}(443{,}2 - T_c)\pi.0{,}081 + \frac{5{,}67.10^{-8}.\pi.0{,}081(443{,}2^4 - T_c^4)}{\left\{\frac{1}{0{,}15} + \frac{0{,}081}{0{,}144}\left(\frac{1}{0{,}88} - 1\right)\right\}}$$

$$= 0{,}2545h_{pc}(443{,}2 - T_c) + 0{,}214 \times 10^{-8}(385{,}8 \times 10^8 - T_c^4) \qquad (3.37)$$

$$\frac{q_t}{L} = h_{\omega}(T_c - 298{,}2)\,\pi.\,0{,}15 + 5{,}67.10^{-8}.\,\pi.\,0{,}15.0{,}88\,(T_c^4 - 292{,}2^4)$$

$$= 0{,}4712h_{\omega}(T_c - 298{,}2) + 2{,}3513.10^{-8}(T_c^4 - 72{,}9.10^8) \qquad (3.38)$$

Cân bằng (3.37) và (3.38) ta sẽ giải ra được các ẩn số $\frac{q_t}{L}$ và T_c. Muốn vậy cần phải biết

h_{pc} và h_{ω}. Vì h_{pc} và h_{ω} cũng phụ thuộc vào T_c nên cần thực hiện một phép thử như sau.

Trước hết giả sử thử với $T_c = 310K$.

Tính h_{pc}: Nhiệt độ trung bình của không khí giữa ống hấp thụ và ống thuỷ tinh:

$$= \frac{443,2 + 310}{2} = 376,6K = 103,4^{o}C$$

Tại nhiệt độ đó tra bảng ta có: k = 0,0323W/m.K; $\nu = 23,52 \times 10^{-6} m^2/s$; $P_r = 0,688$

Do đó:

$$R_a = 9,81.\frac{1}{376,6} \times \frac{(443,2 - 310).0,0315^3}{(23,52)^2.10^{-12}}.0,688 = 134877$$

Từ (3.29) tính được:

$$\frac{k_{eff}}{k} = 0,317 \times \frac{\ln(0,144/0,081)}{(0,0315)^{3/4}\left(\frac{1}{(0,081)^{3/5}} + \frac{1}{(0,144)^{3/5}}\right)5/4} \times (134877)^{1/4} = 3,6349$$

Từ (3.31) ta có: $h_{pc} = \frac{2 \times 3,6349 \times 0,0323}{0,081.\ln(0,144/0,081)} = 5,036 \frac{W}{m^2.K}$

Tính h_{ω}: Nhiệt độ trung bình giữa ống thuỷ tinh và môi trường:

$$= \frac{310 + 298,2}{2} = 304,1K = 30,9^{o}C$$

Tại nhiệt độ này tra bảng có : k = 0,0268W/m.K; $\nu = 16,09 \times 10^{-6} m^2/s$

Giả sử rằng vận tốc gió thổi từ các góc bên phải tới trục của bộ thu, dùng biểu thức (3.32) ta sẽ có:

$$R_e = \frac{4 \times 0,15}{16,09 \times 10^{-6}} = 37300$$

$$N_u = 0,174(37300)^{0,618} = 116,4$$

$$h_{\omega} = 116,4 \times \frac{0,0268}{0,15} = 20,79 \frac{W}{m^2.K}$$

Khi thay các giá trị của h_{pc} và h_{ω} vào các phương trình (3.37) và (3.38) ta thu được các giá trị của T_c và (q_1/L) theo phương pháp thử sai số như cho trong bảng 3.4.

Các giá trị của (q_1/L) ở dòng cuối cùng là xấp xỉ nhau. Nên ta sẽ chọn giá trị trung bình là 225,8W/m. Vì các giá trị của h_{pc} và h_{ω} không thay đổi nhiều khi giá trị của T_c thay đổi từ

310K đến 315,1K nên không cần phải lặp lại phép thử.

Tóm lại: $$U_1 = \frac{(q_1/L)}{\pi \times D_o(T_p - T_a)} = \frac{225,8}{\pi \times 0,081 \times (170 - 25)} = 6,12 W/m^2.K$$

Bảng 3.4

T_c(K)	(q_1/L) từ	
	PT (3.37)	PT (3.38)
310	233,5	161,3
315	225,9	224,7
315,1	225,6	226,0

3.2.5- Phương trình kinh nghiệm để tính hệ số hao phí tổng

Dựa trên việc tính toán một số rất lớn trường hợp trong một khoảng rộng các bộ thu hội tụ máng parabol, Mullick và Nanda đã đưa ra một công thức bán kinh nghiệm để tính trực tiếp hệ số hao phí tổng U_1. Công thức này cho kết quả với sai số không đáng kể.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{C_3(T_p - T_c)^{0,25} + \left[\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c) \Big/ \left\{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{D_o}{D_{ci}}\left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1\right)\right\}\right]} +$$

$$+ \left(\frac{D_o}{D_{co}}\right)\left(\frac{1}{h_\omega + \sigma\varepsilon_c(T_c^2 + T_a^2)(T_c + T_a)}\right) \qquad (3.39)$$

Hằng số C_3 thu được từ hiệu chính của Raithby và Hollands và có dạng:

$$C_3 = \frac{17,74}{(T_p + T_c)^{0,4} D_o (D_o^{-0,75} + D_{ci}^{-0,75})} \qquad (3.40)$$

Nhiệt độ của ống thuỷ tinh phủ bên ngoài T_c được cho bằng:

$$\left(\frac{T_c - T_a}{T_p - T_a}\right) = 0,04075\left(\frac{D_o}{D_{co}}\right)^{0,4} h_\omega^{-0,67}\left[2 - 3\varepsilon_p + \frac{(6 + 9\varepsilon_p)T_p}{100}\right] \qquad (3.41)$$

Nếu $333 < T_p < 513K$, và bằng:

$$\left(\frac{T_c - T_a}{T_p - T_a}\right) = 0,163\left(\frac{D_o}{D_{co}}\right)^{0,4} h_\omega^{-0,67}\left[2 - 3\varepsilon_p + \frac{(1 + 3\varepsilon_p)T_p}{100}\right] \qquad (3.42)$$

Nếu $513 < T_p < 623K$

Khi sử dụng các công thức (3.39) đến (3.42) thì T_p, T_c và T_a được đo bằng độ K; D_c, D_{co} và D_{ci} đo bằng mét (m); σ đo bằng $W/m^2.K^4$; h_{ω} đo bằng $W/m^2.K$. Giá trị của U_1 sẽ đo bằng $W/m^2.K$. Phương trình (3.39) chỉ được áp dụng trong các giới hạn sau:

$0,1 \leq \varepsilon_p \leq 0,95$

$0,0125 \leq D_c \leq 0,15m$

$15 \leq h_{\omega} \leq 60W/m^2K;$

$273 \leq T_a \leq 313K$

Các biểu thức (3.41) và (3.42) cho T_c sai khác ± 10°C. Với độ chính xác này là đủ để xác định U_1 theo (3.39) với độ chính xác ±1% trong khoảng $333 \leq T_p \leq 513K$ và 2% trong khoảng $513 \leq T_p \leq 623K$.

Chương 4

PIN MẶT TRỜI

MỞ ĐẦU

Như đã trình bày trong chương 1, năng lượng Mặt Trời là một nguồn năng lượng sạch và có thể nói là vô tận. Một trong các kỹ thuật sử dụng nguồn năng lượng này là sản xuất điện năng- điện Mặt Trời. Để sản xuất điện Mặt Trời người ta thường sử dụng hai công nghệ: *nhiệt điện Mặt Trời và pin Mặt Trời hay pin quang điện*. Trong công nghệ thứ nhất, năng lượng Mặt Trời được hội tụ nhờ các hệ thống gương hội tụ (như máng parabol, đĩa parabol, gương cầu,...(xem chương 3) để tập trung ánh sáng Mặt Trời thành các nguồn nhiệt có mật độ năng lượng và do đó có nhiệt độ rất cao, có thể làm bốc hơi nước ở nhiệt độ và áp suất lớn và sau đó hơi làm quay các tuabin để sản xuất ra điện năng. Còn trong công nghệ pin Mặt Trời, năng lượng Mặt Trời được biến đổi trực tiếp thành điện năng nhờ các tế bào quang điện bán dẫn, hay còn gọi là các *pin Mặt Trời*, được chế tạo từ các vật liệu bán dẫn điện. Các pin Mặt Trời sản xuất ra điện năng một cách liên tục chừng nào còn có bức xạ Mặt Trời tới nó. Các hệ thống năng lượng pin Mặt Trời rất đơn giản, không có phần chuyển động, không đòi hỏi phải bảo dưỡng chăm sóc thường xuyên như các hệ thống năng lượng khác, nên là các hệ thống rất được quan tâm nghiên cứu, phát triển và ứng dụng. Ngay từ năm 1950 các pin Mặt Trời đã trở thành nguồn điện rất tin cậy cho các vệ tinh nhân tạo và hiện nay là các tàu vũ trụ. Đặc biệt từ cuộc khủng hoảng dầu lửa năm 1973, các hoạt động nghiên cứu hoàn thiện công nghệ pin Mặt Trời đã phát triển mạnh mẽ. Hiện nay sản xuất pin Mặt Trời đã trở thành một trong các ngành công nghiệp quan trọng ở nhiều nước công nghiệp phát triển trên thế giới.

Dưới đây chúng ta sẽ nghiên cứu nguyên lý hoạt động và cấu tạo, các đặc trưng cơ bản của pin Mặt Trời và một số ứng dụng của nó.

4.1. HIỆU ỨNG QUANG-ĐIỆN

4.1.1- Hiệu ứng quang điện trên hệ thống hai mức năng lượng

Xét một hệ hai mức năng lượng điện tử E_1 và E_2 trong đó $E_1 < E_2$ như hình 4.1a.

Bình thường điện tử chiếm mức năng lượng thấp hơn E_1. Khi chiếu sáng hệ thống, lượng

tử ánh sáng- photon- có năng lượng hν (h là hằng số Planck, ν là tần số ánh sáng) bị điện tử hấp thụ và chuyển lên mức năng lượng E_2. Phương trình cân bằng năng lượng có dạng:

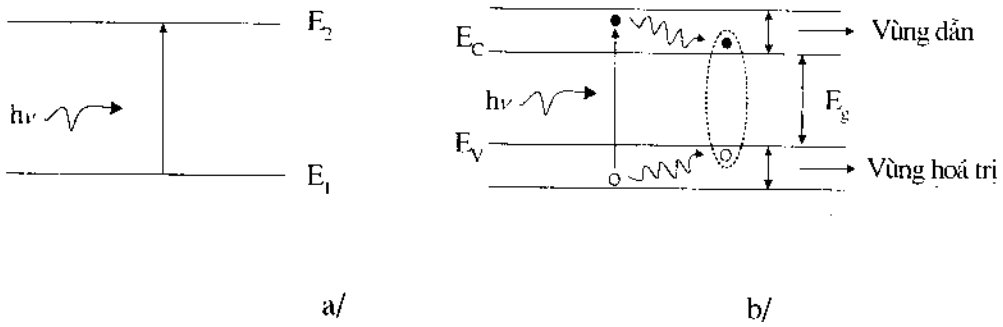
$$h\nu = E_2 - E_1 \tag{4.1}$$

Trong các vật rắn, do tương tác rất mạnh của mạng tinh thể lên điện tử vành ngoài, nên các mức năng lượng của nó bị tách ra nhiều mức năng lượng con rất sát nhau và tạo thành các *vùng năng lượng*. Vùng năng lượng thấp bị các điện tử chiếm đầy khi ở trạng thái cân bằng gọi là *vùng hoá trị* có năng lượng bờ phía trên là E_v. Vùng năng lượng phía trên tiếp đó hoàn toàn trống hoặc chỉ bị chiếm một phần gọi là *vùng dẫn*, bờ dưới của vùng có năng lượng là E_c. Cách ly giữa 2 vùng hoá trị và vùng dẫn là một *vùng cấm* có độ rộng năng lượng E_g, trong đó không có mức năng lượng cho phép nào của điện tử (hình 4.1b).

Khi chiếu sáng vật rắn có cấu trúc vùng năng lượng nói trên, photon có năng lượng hν tới hệ thống và bị điện tử ở vùng hoá trị hấp thụ và nó có thể chuyển lên vùng dẫn để trở thành điện tử tự do e^-, để lại ở vùng hoá trị một lỗ trống có thể coi như "hạt" mang điện dương nguyên tố, ký hiệu h^+. Lỗ trống này có thể "di chuyển" và tham gia vào quá trình dẫn điện.

Hiệu ứng lượng tử của quá trình hấp thụ photon có thể mô tả bằng phương trình sau:

$$e_v + h\nu \Rightarrow e^- + h^+$$



Hình 4.1- Các quá trình lượng tử trong hệ hai mức(a) và hai vùng năng lượng (b).

Điều kiện để điện tử có thể hấp thụ năng lượng của photon và chuyển từ vùng hoá trị lên vùng dẫn, tạo ra *cặp điện tử- lỗ trống* là $h\nu = hc/\lambda \geq E_g = E_c - E_v$. Từ đó có thể tính được *bước sóng giới hạn* λ_c của ánh sáng để có thể tạo cặp $e^- - h^+$ là (trong công thức này năng lượng tính bằng đơn vị eV):

$$\lambda_c(\mu m) = \frac{hc}{E_c - E_v} = \frac{hc}{E_g} = \frac{1{,}24}{E_g} \tag{4.2}$$

Trong thực tế các hạt dẫn bị kích thích e và h^+ đều tự phát tham gia quá trình "hồi

phục", chuyển động tới bờ của các vùng năng lượng: điện tử e^- giải phóng năng lượng để chuyển tới bờ vùng dẫn E_c, còn lỗ trống h^+ tới bờ E_v (hình 4.1b). Quá trình hồi phục chỉ xảy ra trong khoảng thời gian rất ngắn $10^{-12} \div 10^{-1}$ giây và gây ra dao động mạng (phonon). Năng lượng bị tổn hao do quá trình hồi phục sẽ là $(h_v - E_g)$.

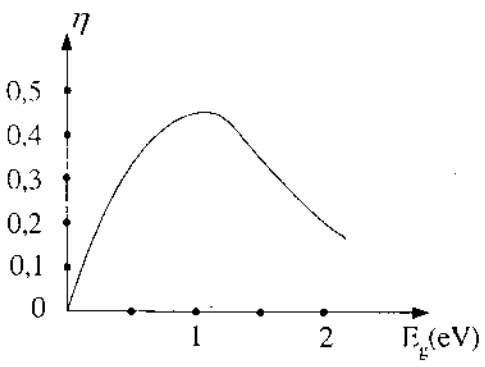
Tóm lại, khi chiếu sáng vật rắn, điện tử ở vùng hoá trị hấp thụ năng lượng photon $h\nu$ và chuyển lên vùng dẫn tạo ra cặp hạt dẫn điện tử - lỗ trống $e^- - h^+$, tức là đã tạo ra một điện thế. Hiện tượng đó gọi là hiệu ứng quang điện bên trong.

4.1.2 - Hiệu suất của quá trình biến đổi quang - điện

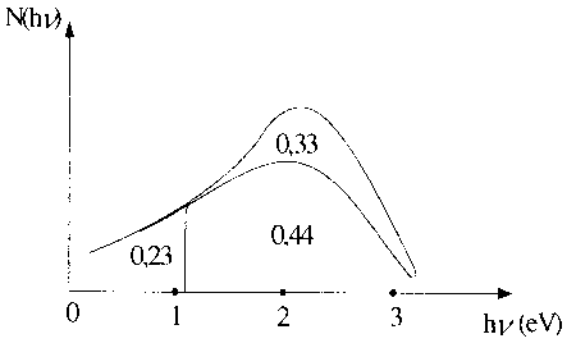
Từ các trình bày ở trên ta có thể xác định được giới hạn lý thuyết của hiệu suất η biến đổi năng lượng quang điện của hệ thống hai mức:

$$\eta = \frac{E_g \int_0^{\lambda c} J_0(\lambda)d\lambda}{\int_0^{\infty} J_0(\lambda)\left[\frac{hc}{\lambda}\right]d\lambda} \qquad (4.3)$$

Trong đó $J_0(\lambda)$ là mật độ photon có bước sóng λ; $J_0(\lambda)d\lambda$ là tổng số photon tới có bước sóng trong khoảng $\lambda \div \lambda + d\lambda$; hc/λ là năng lượng của photon. Tử số của (4.3) là năng lượng hữu ích mà điện tử hấp thụ từ photon trong quá trình quang điện, còn mẫu số là tổng năng lượng của các photon tới hệ. Như vậy, η là một hàm số của E_g (vì λ_c cũng là hàm số của E_g) như được trình bày trong hình 4.2.



Hình 4.2- Hiệu suất biến đổi quang điện phụ thuộc vào độ rộng vùng cấm của vật liệu.



Hình 4.3- Năng lượng tổn hao và hiệu suất biến đổi quang điện của Si.

Như thấy trên hình, về mặt lý thuyết, η có một cực đại $\eta_{max} \approx 0,44$ xung quanh giá trị $E_g = 1,5$ eV. Kết quả này có tính tổng quát và áp dụng cho các hệ 2 mức năng lượng bất kỳ.

Năng lượng tổn hao trong một quá trình biến đổi quang điện chủ yếu do các nguyên nhân sau:

- Các photon có năng lượng $h\nu < E_g$ hay $\lambda > \lambda_c$ không bị điện tử hấp thụ để tạo cặp $e^- - h^+$, mà truyền qua vật rắn ;

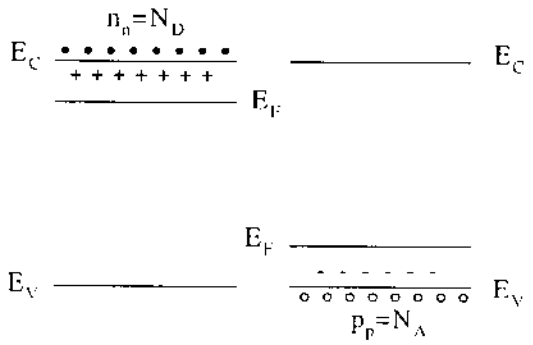
- Do quá trình hồi phục, điện tử và lỗ trống giải phóng năng lượng $\Delta E = h\nu - E_g$ cho mạng tinh thể vật rắn để tới đáy các vùng năng lượng;

- Do quá trình tái hợp điện tử - lỗ trống.

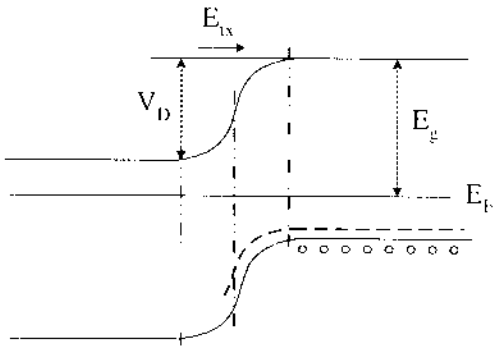
Đối với bán dẫn silicon Si, $E_g = 1{,}16$ eV, tính toán cho thấy 23% mất mát năng lượng do photon truyền qua; 33% bị mất do quá trình hồi phục của e^- và h^+ tới các bờ vùng E_c và E_v, như được chỉ ra trên hình 4.3. Như vậy đối với quá trình quang điện trên vật liệu Si, thì về mặt lý thuyết, $\eta < 0{,}44$.

4.1.3- Hiệu ứng quang điện trên lớp tiếp xúc bán dẫn pn

Từ trên ta thấy rằng khi được chiếu sáng trong vật rắn có thể được tạo ra các cặp điện tử và lỗ trống e^- - h^+ liên kết yếu với nhau.



Hình 4.4- Bán dẫn loại n và p trước khi tiếp xúc (electron kí hiệu bằng chấm đen, lỗ trống - vòng tròn nhỏ).



Hình 4.5- Sự tạo thành lớp tiếp xúc bán dẫn pn.

Để có thể tạo ra dòng điện, trước hết cần tách e^- và h^+ khỏi liên kết cặp và sau đó bắt chúng chuyển động có hướng. Hiệu ứng này có thể thực hiện nhờ một điện trường E nào đó, ví dụ như sử dụng điện trường định xứ trên lớp tiếp xúc pn giữa hai loại bán dẫn.

Hình 4.4 là các sơ đồ các vùng năng lượng của hai loại bán dẫn n và p . Trong bán dẫn loại n, mật độ hạt dẫn điện tử n_n rất lớn hơn mật độ lỗ trống p_n ($n_n >> p_n$). Vì vậy người ta gọi điện tử là hạt dẫn cơ bản, còn lỗ trống là hạt dẫn không cơ bản. Một cách gần đúng thì mật độ điện tử n_n gần bằng mật độ tạp chất nguyên tử donor N_D được pha vào bán dẫn tinh khiết. Còn

trong bán dẫn loại p, lỗ trống lại là hạt dẫn cơ bản. Mật độ lỗ trống p_p lại rất lớn hơn mật độ điện tử n_p, $p_p >> n_p$, độ dẫn chủ yếu do lỗ trống có mật độ p_p, nó gần bằng mật độ nguyên tử tạp chất acceptor N_A được pha vào bán dẫn tinh khiết.

Về mặt năng lượng, sự pha các tạp chất donor và acceptor vào bán dẫn tinh khiết đã làm xuất hiện các mức năng lượng tạp chất trong vùng cấm: các mức tạp donor nằm sát dưới đáy vùng dẫn E_c trong bán dẫn loại n, được biểu thị bằng các dấu "+" trong hình 4.4 . Ngược lại, các mức tạp acceptor lại nằm sát đỉnh vùng hoá trị trong bán dẫn loại p và được biểu thị bằng dấu "–".

Khi cho các bán dẫn n và p tiếp xúc với nhau, tạo ra một tiếp xúc điện tử pn, thì do *chênh lệch về mật độ các hạt dẫn*, các điện tử sẽ khuếch tán từ bán dẫn n sang bán dẫn p, còn lỗ trống thì khuếch tán ngược lại. Sự khuếch tán này làm cho phía bán dẫn n sát lớp tiếp xúc tích điện dương, còn phía bán dẫn p đối điện tích điện âm. Trong miền tiếp xúc hình thành một *điện trường tiếp xúc* hướng từ bán dẫn n sang p ngăn cản các quá trình khuếch tán của điện tử và lỗ trống. Sự hình thành điện trường tiếp xúc dẫn đến sự tạo ra một hàng rào thế năng như hình 4.5 ngăn cản sự khuếch tán của các hạt tải điện cơ bản qua lớp tiếp xúc. Khi đạt trạng thái cân bằng, điện trường và hiệu điện thế tiếp xúc sẽ đạt giá trị ổn định phụ thuộc vào bản chất vật liệu và nhiệt độ của lớp tiếp xúc và có thể biểu diễn bằng công thức sau:

$$U_{tx} = \frac{kT}{q}\ln\frac{n_n p_p}{n_i^2} = \frac{kT}{q}\ln\frac{N_d N_a}{n_i^2}$$

và thế năng tiếp xúc $$qU_{tx} = kT\ln\frac{n_n p_p}{n_i^2} \qquad (4.4)$$

vì $$n_i^2 = n_n.p_n = p_p.n_p \rightarrow qU_{tx} = kT\ln\frac{n_n}{n_p} = kT\ln\frac{p_p}{p_n}$$

trong đó n_i là mật độ điện tử dẫn trong bán dẫn chưa pha tạp chất, nó cũng bằng mật độ lỗ trống p_i ; T là nhiệt độ lớp tiếp xúc pn; k là hằng số Boltzmann và q là điện tích của điện tử.

Ở trạng thái cân bằng, độ cao hàng rào thế $V_D = qU_{TX}$ có giá trị gần bằng độ rộng vùng cấm E_g của vật liệu và điện trường tiếp xúc có giá trị khoảng $E_{TX} \sim 10^4 \div 10^5$ V/cm. Độ dày của lớp tiếp xúc W có thể được xác định theo công thức:

$$W = W_n + W_p = \sqrt{\frac{2\varepsilon_0\varepsilon(N_a + N_d)U_{tx}}{q^2 N_a N_d}}$$

trong đó W_n, W_p là các độ dày lớp tiếp xúc ở phía bán dẫn n và p, ε_o và ε là hằng số điện và hằng số điện môi của bán dẫn. Giá trị điển hình của W vào khoảng 0,1 ÷ 1 μm. Chú ý rằng, điện trường và do đó điện thế tiếp xúc chỉ tồn tại trong lớp tiếp xúc, ngoài lớp tiếp xúc tính chất của vật liệu không bị thay đổi.

Ở lớp tiếp xúc, các hạt dẫn điện tự do đã bị làm nghèo do quá trình tái hợp và quá trình khuếch tán của các hạt dẫn. Vì vậy điện trở của lớp tiếp xúc là rất lớn.

4.1.4- Đặc trưng Von-Ampe tối

Ta xét tính chất của lớp tiếp xúc *khi chưa được chiếu sáng*.

Đặt một nguồn thế ngoài vào một lớp tiếp xúc pn và nghiên cứu sự phụ thuộc của dòng điện qua lớp tiếp xúc vào hiệu điện thế đặt vào nó như hình 4.6.

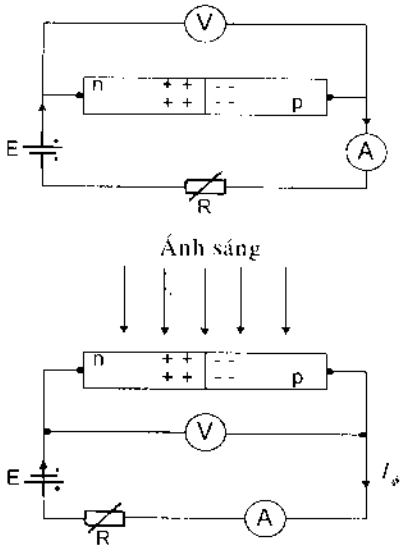
Hãy *phân cực ngược* lớp tiếp xúc pn, nghĩa là nối cực dương của nguồn ngoài vào bán dẫn n, cực âm vào bán dẫn p (hình 4.6a). Khi đó, điện trường ngoài E_0 và điện trường tiếp xúc E_{TX} cùng chiều. Điện trường tổng hợp $E = E_{TX} + E_0$ trên lớp tiếp xúc rất lớn, hàng rào thế năng bị nâng cao lên, do vậy ngăn cản không cho dòng các hạt tải điện cơ bản qua lớp tiếp xúc. Ở trạng thái này, mặc dù dòng các hạt tải không cơ bản được gia tốc mạnh, nhưng do mật độ nhỏ nên dòng các hạt không cơ bản nhanh chóng đạt tới bão hoà có giá trị rất nhỏ I_s.

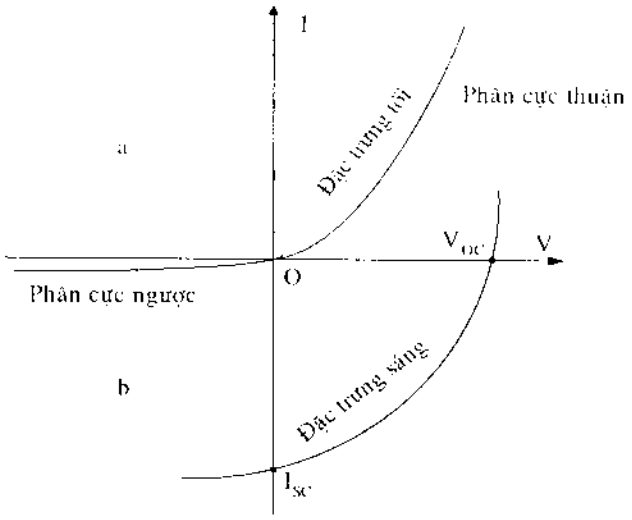
Đổi phân cực nguồn ngoài, tức là *phân cực thuận* lớp tiếp xúc pn (cực dương nguồn thế ngoài nối vào bán dẫn p, cực âm vào bán dẫn n). Khi đó điện trường ngoài và điện trường tiếp xúc ngược chiều nhau, nên điện trường tổng hợp $E = E_0 - E_{TX} < E_{TX}$. Kết quả là hàng rào thế ở lớp tiếp xúc giảm hoặc bị khử hoàn toàn, dòng các hạt tải điện có mật độ lớn qua lớp tiếp xúc tăng rất nhanh (theo qui luật hàm số mũ- công thức 4.5) theo hiệu điện thế ngoài. Hình 4.7 cho thấy hàng rào thế năng của các hạt tải cơ bản ở miền tiếp xúc khi nó bị phân cực ngược và phân cực thuận.

Hình 4.8 cho đường cong biểu diễn sự phụ thuộc của dòng điện qua lớp tiếp xúc pn vào hiệu điện thế ngoài đặt vào nó khi lớp tiếp xúc không được chiếu sáng (đường cong qua gốc toạ độ) và khi được chiếu sáng.

Đường cong khi lớp tiếp xúc không được chiếu sáng được gọi là *đường đặc trưng tối Von-Ampe (VA) của lớp tiếp xúc* và nó được mô tả bằng phương trình điot bán dẫn thông thường:

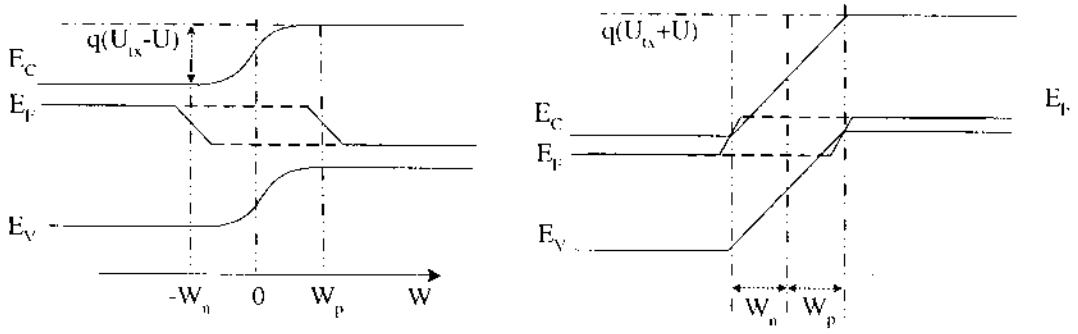
$$I_d = I_s\left[\exp\frac{qV}{kT} - 1\right] \qquad (4.5)$$





Hình 4.6- Các mạch điện đo đặc trưng VA của tiếp xúc bán dẫn pn.

Hình 4.8- Đặc trưng tối và sáng của tiếp xúc bán dẫn pn.



Hình 4.7- Hàng rào thế năng ở lớp tiếp xúc pn khi phân cực thuận và phân cực ngược.

Trong công thức (4.5) I_d là dòng qua lớp tiếp xúc pn ; I_S - dòng điện ngược bão hoà; V- hiệu điện thế đặt vào lớp tiếp xúc pn ; k - hằng số Boltzmann ; T - nhiệt độ của lớp tiếp xúc pn và q - điện tích của điện tử. Dòng điện ngược bão hoà I_S phụ thuộc vào mật độ các hạt tải không cơ bản n_p, p_n , vào độ dài khuếch tán L_n , L_p và thời gian sống τ_n , τ_p của chúng theo biểu thức sau:

$$I_s = q\left[\left(\frac{n_p L_n}{\tau_n}\right) + \left(\frac{p_n L_p}{\tau_p}\right)\right] = I_{sn} + I_{sp}$$

Tóm lại, ở trạng thái không chiếu sáng, lớp tiếp xúc pn là một *phần tử thụ động*, không tạo ra năng lượng và có tính chất chỉnh lưu, chỉ cho dòng điện qua khi phân cực thuận nó. Đường đặc trưng Von-Ampe tối là đường đặc trưng của điot bán dẫn thông thường.

4.1.5- Đường đặc trưng Von-Ampe sáng - sự tạo dòng quang điện

Chiếu sáng lớp tiếp xúc pn. Dưới tác dụng của các photon ánh sáng, các cặp điện tử-lỗ trống được tạo thành, và do tác dụng của điện trường tiếp xúc E_{TX} nên các cặp bị tách ra và bị gia tốc về các phía đối diện và tạo ra một *suất điện động quang điện*. Nếu nối các đầu bán dẫn loại p và n bằng một dây dẫn thì trong dây có một dòng điện – gọi là *dòng quang điện*- và có thể cho ở mạch ngoài một công suất hữu ích. Suất điện động quang điện xuất hiện trong lớp tiếp xúc pn khi chiếu sáng nó, phụ thuộc vào bản chất các bán dẫn, vào nhiệt độ lớp tiếp xúc và vào bước sóng và cường độ ánh sáng tới.

Hiện tượng xuất hiện suất điện động quang điện trên lớp tiếp xúc bán dẫn pn khi chiếu sáng được gọi là hiệu ứng quang điện bên trong (phân biệt với hiệu ứng quang điện ngoài là hiện tượng các điện tử thoát khỏi bề mặt kim loại khi chiếu ánh sáng thích hợp vào bề mặt kim loại).

Cần chú ý rằng, chỉ có các cặp $e^- - h^+$ được tạo ra ở miền tiếp xúc hoặc cách bờ miền tiếp xúc một khoảng L_D được gọi là *độ dài khuếch tán trung bình của cặp $e^- - h^+$* (xem hình 4.9) thì mới bị điện trường tiếp xúc tách ra và tạo ra dòng quang điện. L_D là hàm của hai tham số: độ linh động của hạt điện μ (tốc độ chuyển động/ một đơn vị điện trường) và thời gian sống trung bình τ của cặp trước khi bị tái hợp:

$$L_D = f(L_p, L_n)$$

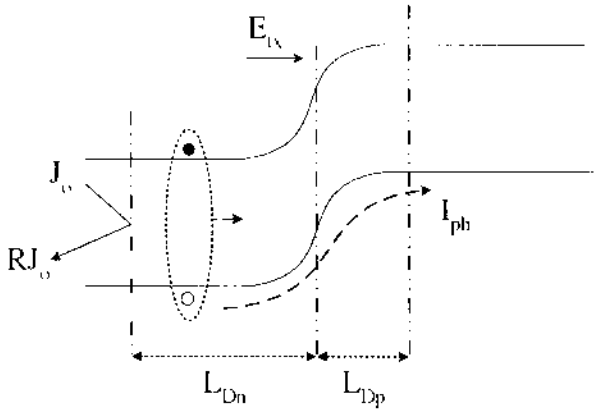
$$L_{Dn} = \left(\frac{kT}{q}\mu_n\tau_n\right)^{1/2} = \left(D_n\tau_n\right)^{1/2} \qquad (4.6)$$

$$L_{Dp} = \left(\frac{kT}{q}\mu_p\tau_p\right)^{1/2} = \left(D_p\tau_p\right)^{1/2}$$

trong đó, đại lượng :

$$D = \frac{kT}{q}\mu$$

với q là điện tích nguyên tố, gọi là hệ số khuếch tán của hạt dẫn.



Hình 4.9- Sự tạo thành dòng quang điện.

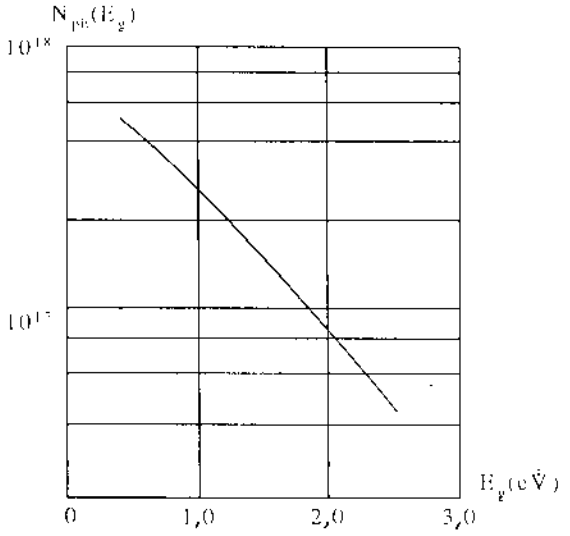
Như vậy dòng quang điện I_{ph} tỷ lệ với tổng số photon bị hấp thụ và có thể được biểu diễn bởi (4.7):

$$I_{ph} = qK\int_0^{\lambda c} J_0(\lambda)d\lambda \qquad (4.7)$$

trong đó K là một hệ số và được gọi là *hiệu suất góp* của lớp tiếp xúc, nó có giá trị cực đại bằng 1. Người ta cũng có thể viết:

$$I_{ph} = qKN_{ph} \quad \text{với} \quad N_{ph} = \int_0^{\lambda c} J_0(\lambda)d\lambda \qquad (4.8)$$

Ở đây N_{ph} là số các cặp $e^- - h^+$ được tạo ra trong giới hạn bước sóng λ_c. Khi cho K = 1, N_{ph} và do đó I_{ph} là hàm số của E_g (thông qua λ_c) và được biểu diễn trong hình 4.10.



Hình 4.10- Sự phụ thuộc của số cặp e^-- h^+ được tạo ra khi chiếu sáng lớp tiếp xúc pn vào độ rộng vùng cấm của vật liệu.

Ta hãy nghiên cứu đường đặc trưng Von-Ampe của lớp tiếp xúc pn được chiếu sáng. Như đã nói ở trên, dưới tác dụng của một chùm sáng có cường độ không đổi, trong mạch xuất hiện một dòng quang điện I_{ph}, nó là dòng chuyển động

của các hạt dẫn không cơ bản. Dòng tổng cộng qua lớp tiếp xúc pn khi đặt một nguồn thế ngoài V (xem hình vẽ 4.11) có thể biểu diễn bởi tổng đại số của hai dòng, dòng quang điện I_{ph} và dòng điot I_d như sau:

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_s\left[\exp\frac{qV}{kT} - 1\right] \qquad (4.9)$$

Đường đặc trưng I = f(V) theo (4.9) gọi là *đường đặc trưng V – A sáng của tiếp xúc bán dẫn pn* (hình 4.8). Từ đó có thể thấy là đường đặc trưng sáng V – A của lớp tiếp xúc pn có thể suy ra từ đường đặc trưng V – A tối của nó bằng cách tịnh tiến theo trục OI trên hệ toạ độ OIV một giá trị bằng dòng I_{ph}.

Như vậy một lớp tiếp xúc bán dẫn pn khi được chiếu sáng có thể trở thành một *máy phát điện*, cho công suất điện mạch ngoài hữu ích. Thiết bị sử dụng hiệu ứng quang điện trong trên lớp bán dẫn pn để biến đổi trực tiếp năng lượng của ánh sáng Mặt Trời thành điện năng được gọi là *pin quang điện* hay *pin Mặt Trời*. Chúng ta sẽ nghiên cứu kỹ hơn các đặc trưng cơ bản của pin Mặt Trời ở các mục sau.

4.2- PIN MẶT TRỜI

4.2.1- Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của pin Mặt Trời

Một lớp tiếp xúc bán dẫn pn có khả năng biến đổi trực tiếp năng lượng bức xạ Mặt Trời thành điện năng nhờ hiệu ứng quang điện bên trong gọi là *pin Mặt Trời*.

Pin Mặt Trời được sản xuất và ứng dụng phổ biến hiện nay là các pin Mặt Trời được chế tạo từ vật liệu tinh thể bán dẫn silicon (Si). Si là một chất bán dẫn điển hình và có hoá trị 4. Từ tinh thể Si tinh khiết, để có vật liệu tinh thể bán dẫn Si loại n, người ta pha tạp chất donor là photpho (P) có hoá trị 5. Còn để có vật liệu bán dẫn tinh thể loại p thì tạp chất acceptor được dùng để pha vào Si là Bo có hoá trị 3. Đối với pin Mặt Trời từ vật liệu tinh thể Si khi được chiếu sáng thì hiệu điện thế hở mạch giữa hai cực vào khoảng 0,55V, còn dòng đoản mạch của nó dưới bức xạ Mặt Trời 1000W/m^2 vào khoảng (25÷30) mA/cm^2. Hiện nay người ta cũng đã đưa ra thị trường các pin Mặt Trời bằng vật liệu Si vô định hình (a-Si). Pin Mặt Trời a-Si có ưu điểm là tiết kiệm được vật liệu trong sản xuất do đó có thể có giá thành rẻ hơn. Tuy nhiên, so với pin Mặt Trời tinh thể thì hiệu suất biến đổi quang điện của nó thấp và kém ổn định khi làm việc ngoài trời.

Ngoài Si, người ta còn nghiên cứu và thử nghiệm các loại vật liệu khác có nhiều hứa hẹn như hệ bán dẫn hợp chất bán dẫn nhóm III-V, sunfit cadmi-đồng (CuCdS), galium-arsenit (GaAs),...Tuy nhiên, hiện nay việc nghiên cứu chế tạo và sử dụng các pin Mặt Trời từ các vật liệu khác Si chỉ mới ở phạm vi và qui mô thí nghiệm.

Một hướng khác nhằm nâng cao hiệu suất biến đổi quang điện của pin Mặt Trời là thiết kế, chế tạo các pin Mặt Trời gồm một số lớp tiếp xúc pn để tăng cường khả năng hấp thụ photon có năng lượng khác nhau trong phổ bức xạ Mặt Trời. Ta sẽ đề cập các vấn đề này ở các phần sau.

4.2.2- Các đặc trưng điện của pin Mặt Trời

4.2.2.1- Sơ đồ tương đương

Như đã trình bày ở trên, khi được chiếu sáng, nếu ta nối các bán dẫn p và n của một tiếp xúc pn bằng một dây dẫn, thì pin Mặt Trời phát ra một dòng quang điện I_{ph} .Vì vậy trước hết pin Mặt Trời có thể xem tương đương như một *nguồn dòng*.

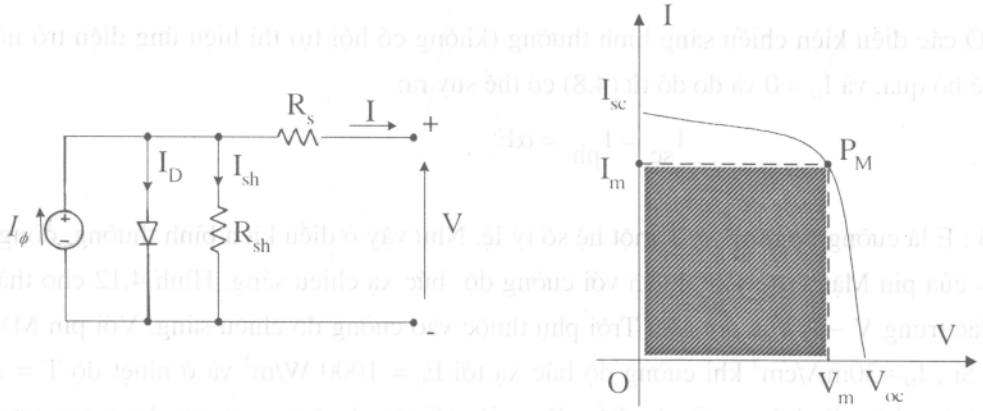
Lớp tiếp xúc bán dẫn pn có tính chỉnh lưu tương đương như một *điot*. Tuy nhiên, khi phân cực ngược, do điện trở lớp tiếp xúc có giới hạn, nên vẫn có một dòng điện- được gọi là dòng dò- qua nó. Đặc trưng cho dòng dò qua lớp tiếp xúc pn người ta đưa vào đại lượng *điện trở sơn* R_{sh} (shun).

Khi dòng quang điện chạy trong mạch, nó phải đi qua các lớp bán dẫn p và n, các điện cực, các tiếp xúc,... Đặc trưng cho tổng các điện trở của các lớp đó là một *điện trở* R_s *nối tiếp* trong mạch (có thể coi là điện trở trong của pin Mặt Trời).

Như vậy, một pin Mặt Trời được chiếu sáng có sơ đồ điện tương đương như hình 4.11.

Từ sơ đồ tương đương, có thể dễ dàng viết được phương trình đặc trưng sáng Von-Ampe của pin Mặt Trời như sau:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} = I_{ph} - I_s\left[\exp\frac{q(V+R_s I)}{nkT} - 1\right] - \frac{V+R_s I}{R_{sh}} \qquad (4.10)$$



Hình 4.11- Sơ đồ tương đương của pin Mặt Trời (a) và đường đặc trưng sáng của pin Mặt Trời (b).

trong đó :

I_{ph} - dòng quang điện (A/m^2);

I_D - dòng qua điot (A/m^2);

I_S - dòng bão hoà (A/m^2);

n - được gọi là thừa số lý tưởng phụ thuộc vào các mức độ hoàn thiện công nghệ chế tạo pin Mặt Trời. Gần đúng có thể lấy n = 1;

R_S - điện trở nối tiếp (điện trở trong) của pin Mặt Trời (Ω/m^2) ;

R_{sh} - điện trở sơn (điện trở dò) (Ω/m^2) và

q - điện tích của điện tử (C).

Thông thường điện trở sơn R_{sh} rất lớn vì vậy có thể bỏ qua số hạng cuối trong biểu thức (4.10). Đường đặc trưng sáng Von-Ampe của pin Mặt Trời cho bởi biểu thức có dạng như đường cong trong hình 4.11b. Có 3 điểm quan trọng trên đường đặc trưng này:

- Dòng đoản mạch I_{SC} ;
- Thế hở mạch V_{OC} và
- Điểm làm việc công suất cực đại P_M.

4.2.2.2 – Dòng đoản mạch I_{SC}

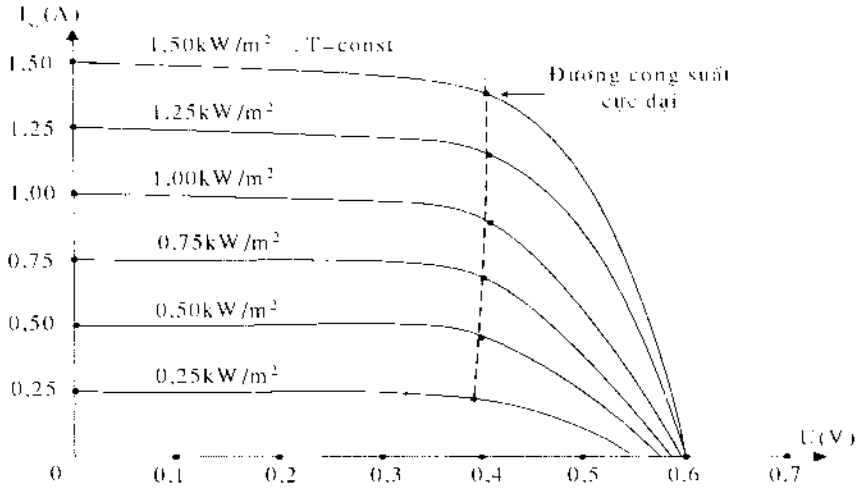
Dòng đoản mạch I_{SC} là dòng điện trong mạch của pin Mặt Trời khi mạch ngoài của pin bị chập lại (điện trở và hiệu điện thế mạch ngoài bằng 0). Khi đó, từ phương trình (4.10) ta có:

$$I_{sc} = I_{ph} - I_s\left[\exp\frac{qR_s I_{sc}}{nkT} - 1\right] - \frac{R_s I_{sc}}{R_{sh}} \qquad (4.11)$$

Ở các điều kiện chiếu sáng bình thường (không có hội tụ) thì hiệu ứng điện trở nối tiếp R_S có thể bỏ qua, và $I_D = 0$ và do đó từ (4.8) có thể suy ra:

$$I_{sc} = I_{ph} - \alpha E$$

trong đó : E là cường độ sáng, α là một hệ số tỷ lệ. Như vậy ở điều kiện bình thường, dòng đoản mạch I_{SC} của pin Mặt Trời tỷ lệ thuận với cường độ bức xạ chiếu sáng. Hình 4.12 cho thấy các đường đặc trưng V – A của pin Mặt Trời phụ thuộc vào cường độ chiếu sáng. Với pin Mặt Trời tinh thể Si , $I_{SC} \approx 30 mA/cm^2$ khi cường độ bức xạ tới $E_0 = 1000\ W/m^2$ và ở nhiệt độ $T = 25^0$ C. Đường chấm chấm là đường nối các điểm làm việc tối ưu có công suất cực đại ở các cường độ bức xạ khác nhau.



Hình 4.12- Sự phụ thuộc của đặc trưng V–A của pin Mặt Trời vào cường độ bức xạ Mặt Trời.

4.2.2.3- Thế hở mạch V_{oc}

Thế hở mạch V_{oc} là hiệu điện thế được đo khi mạch ngoài của pin Mặt Trời hở ($R = \infty$). Khi đó dòng mạch ngoài $I = 0$. Từ biểu thức (4.10) và giả thiết R_{sh} rất lớn ta có thể xác định V_{oc} nhờ biểu thức sau:

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \frac{I_{ph} + I_s}{I_s}$$

vì $I_{ph} >> I_s$ nên có thể viết

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \frac{I_{ph}}{I_s} \qquad (4.13)$$

Trong biểu thức (4.13) ta thấy V_{oc} phụ thuộc vào nhiệt độ một cách trực tiếp (thừa số T ở trước biểu thức) và gián tiếp qua dòng bão hoà I_S. Như đã biết, dòng bão hoà I_S là dòng các hạt tải điện không cơ bản được tạo ra do kích thích nhiệt và bị gia tốc bởi điện trường tiếp xúc. Khi nhiệt độ của pin Mặt Trời tăng dòng bão hoà I_S cũng tăng lên theo hàm mũ :

$$I_S = qAg_{th}L_D = qAL_D g_0 \left[\exp\left(-\frac{E_g}{kT} \right) \right] \qquad (4.14)$$

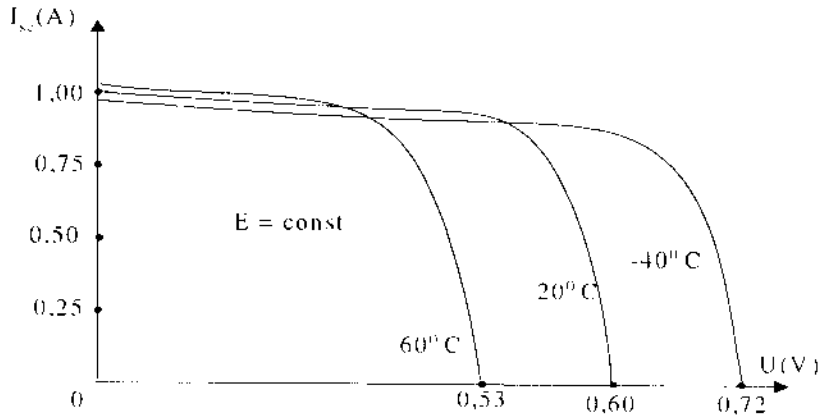
ở đây $$g_{th} = g_o\left[\exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right)\right]$$

trong biểu thức (4.14), A là diện tích bề mặt tiếp xúc pn, g_{th} là mật độ hạt dẫn được tạo ra do kích thích nhiệt trong lớp tiếp xúc, $g_o = g_{th}$ khi $T = \infty$ được gọi là *hệ số kích thích nhiệt*. Đặt các biểu thức này vào biểu thức (4.13) ta có:

$$V_{oc} = \frac{E_g}{q} - \frac{nkT}{q}\ln\frac{L_D g_o A}{KN_{ph}}.$$

Từ đó ta thấy, chỉ khi T = 0 thì mới thu được ở các đầu ra của tiếp xúc pn điện thế bằng thế năng E_g/q của cặp $e^- - h^+$. Còn khi T > 0 thì :

$$V_{oc} < \frac{E_g}{q}$$



Hình 4.13- Sự phụ thuộc của đặc trưng sáng V–A của pin Mặt Trời vào nhiệt độ của pin.

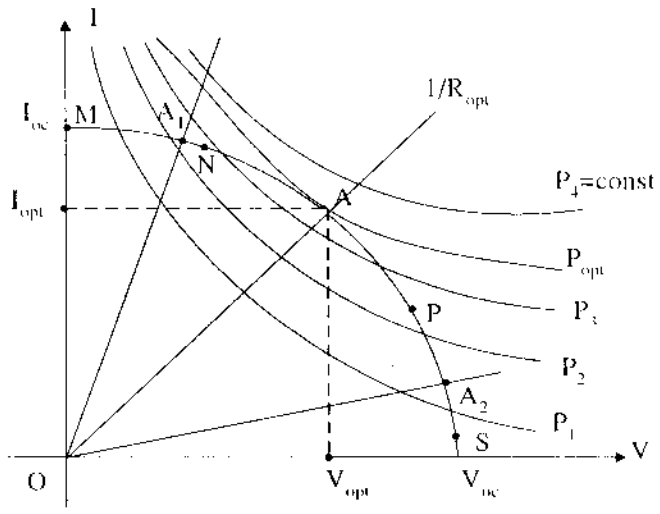
Sự khác nhau giữa các thế năng khi T = 0 và khi T > 0 phụ thuộc vào *hệ số kích thích nhiệt* g_o và vào *hiệu suất góp K*. Khi chiếu sáng với cường độ sáng cao thì N_{ph} tăng lên và V_{oc} càng gần tới giá trị E_g/q. Ngoài ra, V_{oc} tăng theo hàm loga với dòng quang điện I_{ph} mà đến lượt nó lại tăng tuyến tính với cường độ bức xạ chiếu sáng. Kết quả là thế hở mạch V_{oc} tăng theo hàm loga theo cường độ bức xạ chiếu sáng và giảm tuyến tính khi nhiệt độ của pin Mặt Trời tăng. Đối với pin Mặt Trời tinh thể Si, khi nhiệt độ tăng trong khoảng từ 20^0C đến 100^0C thì V_{oc} giảm khoảng 2mV/^{0}C, còn dòng quang điện tăng lên khoảng 0,03mA/cm^2.^{0}C. Hình 4.13 cho

thấy sự phụ thuộc của đặc trưng sáng V–A của pin Mặt Trời tinh thể Si vào nhiệt độ trong khoảng nhiệt độ từ – 40 ^{0}C đến + 60^0 C.

4.2.2.4- Điểm làm việc với công suất cực đại

Xét một đường đặc trưng V–A của pin Mặt Trời đối với một cường độ bức xạ cho trước và ở nhiệt độ xác định. Nếu các cực của pin Mặt Trời được nối với một tải tiêu thụ điện R thì điểm cắt nhau của đường đặc trưng V–A của pin Mặt Trời và đường đặc trưng của tải trong toạ độ OIV là *điểm làm việc* của pin Mặt Trời. Nếu tải tiêu thụ điện của một pin Mặt Trời là một tải điện trở Ohm thuần, thì đường đặc trưng tải là một đường thẳng qua gốc toạ độ và có độ nghiêng α đối với trục OV và tgα = 1/R trên hình 4.14. Trong trường hợp này, công suất pin Mặt Trời cấp cho tải chỉ phụ thuộc vào giá trị điện trở R.

Trong toạ độ OIV, công suất pin Mặt Trời cấp cho tải R bằng diện tích hình chữ nhật giới hạn bởi hoành độ và tung độ của điểm làm việc. Với các giá trị R khác nhau, các điểm làm việc sẽ khác nhau và do đó công suất tải tiêu thụ cũng khác nhau. Tồn tại một giá trị R = R_{OPT} mà tại đó công suất tải tiêu thụ là cực đại. Điểm làm việc ứng với công suất cực đại, điểm A trên hình 4.14, là điểm tiếp xúc giữa đường đặc trưng V–A của pin Mặt Trời và đường công suất không đổi (đường công suất không đổi IV=const là các đường hypecbol).



Hình 4.14- Điểm làm việc và điểm làm việc công suất cực đại.

Giá trị của điện trở tải tối ưu R_{OPT} được xác định từ các thế và dòng của nó theo định luật Ohm:

$$R_{opt} = \frac{V_{opt}}{I_{opt}} \quad (4.15)$$

Ở điều kiện cường độ bức xạ không đổi và ở nhiệt độ cho trước ta thấy:

- Nếu điện trở tải R nhỏ, R« R_{opt} , pin Mặt Trời sẽ làm việc trong miền MN (hình 4.14) là miền mà cường độ dòng điện gần như không đổi và gần bằng dòng đoản mạch I_{SC}.

- Nếu điện trở tải R lớn, R » R_{opt} , pin Mặt Trời làm việc trong miền PS (hình 4.14), với hiệu điện thế gần như không đổi và bằng thế hở mạch V_{OC}.

Rõ ràng là pin Mặt Trời chỉ làm việc có hiệu quả khi tải tiêu thụ điện có giá trị lân cận R_{OPT}. Điều này không phải lúc nào cũng dễ dàng đạt được bởi vì điểm làm việc ngay đối với một máy tiêu thụ điện cũng thay đổi. Ngoài ra bức xạ Mặt Trời và nhiệt độ của môi trường thay đổi liên tục theo thời gian, nên đường đặc trưng V–A của pin Mặt Trời cũng thay đổi và do đó làm dịch chuyển điểm làm việc ra khỏi điểm làm việc tối ưu.

4.2.2.5- Các tham số ảnh hưởng đến chế độ làm việc và hiệu suất của pin Mặt Trời

Có năm tham số ảnh hưởng đến chế độ làm việc và hiệu suất của pin Mặt Trời. Đó là:

- Điện trở nội (điện trở nối tiếp) R_S ;

- Điện trở sơn R_{sh} ;

- Dòng bão hoà I_S.

Các tham số trên được gọi là các tham số "chủ quan" của pin Mặt Trời. Hai tham số "khách quan" khác là:

- Cường độ bức xạ Mặt Trời E ;

- Nhiệt độ của pin T.

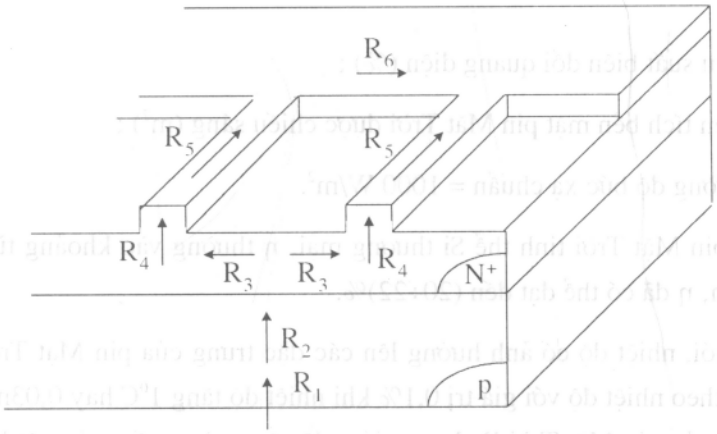
Ở điều kiện bức xạ bình thường (không hội tụ) các tham số trên có thể xem như các tham số độc lập, chỉ trừ dòng điện bão hoà I_S và nhiệt độ T.

Điện trở sơn R_{sh} đặc trưng cho dòng dò qua lớp tiếp xúc pn, phụ thuộc vào công nghệ chế tạo lớp tiếp xúc. Thông thường giá trị của R_{sh} khá lớn, nên dòng dò có thể bỏ qua.

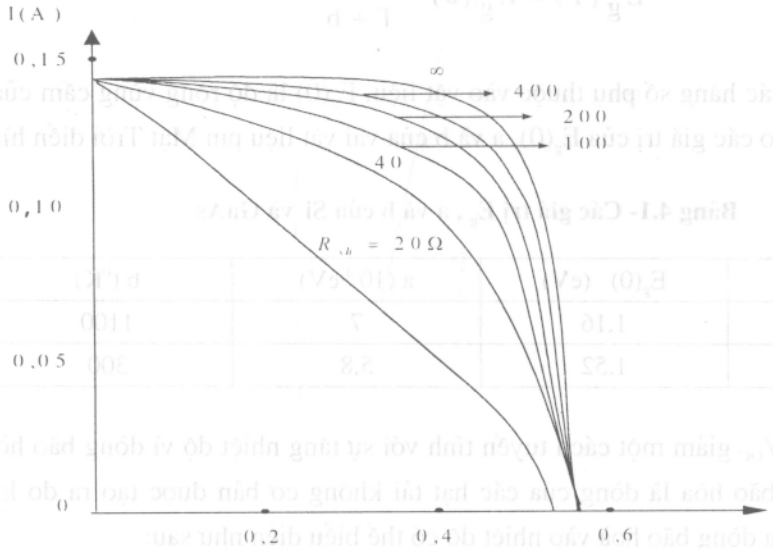
Điện trở nội R_S là tổng của các điện trở: điện trở tiếp xúc giữa điện cực dưới và bán dẫn p, R_1 ; điện trở lớp bán dẫn loại p, R_2 ; điện trở lớp bán dẫn loại n, R_3 ; điện trở tiếp xúc giữa bán dẫn n và cực kim loại trên, R_4 ; điện trở của cực lưới kim loại mặt trên , R_5 và điện trở của các thanh góp kim loại mặt trên, R_6 (hình 4. 15). Tức là:

$$R_S = \sum_{i=1}^{6} R_i = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 \qquad (4.16)$$

Sự tăng R_S hoặc sự giảm R_{sh} ảnh hưởng xấu đến công suất phát điện của pin Mặt Trời. Về mặt đồ thị, các điện trở này sẽ làm biến đổi dạng của đường đặc trưng Von-Ampe của pin Mặt Trời. R_S gây ra sự giảm độ nghiêng của đường đặc trưng I = f(V) trong miền pin làm việc như một nguồn thế. Còn điện trở sơn R_{sh} làm tăng góc nghiêng của đường đặc trưng trong miền pin Mặt Trời làm việc như một nguồn dòng (hình 4.16) .



Hình 4.15- Các thành phần của điện trở nội của pin Mặt Trời.



Hình 2.16- Đặc trưng sáng V–A của pin Mặt Trời phụ thuộc điện trở sơn R_{sh}.

4.2.2.6- Hiệu suất biến đổi quang- điện của pin Mặt Trời

Công suất đỉnh (peak power) của pin Mặt Trời là công suất do pin Mặt Trời phát ra khi nó làm việc ở điểm làm việc tối ưu dưới bức xạ có cường độ 1000W/m^2 và ở nhiệt độ 25^{0}C. Công suất đỉnh được đo bằng oátpic (Wp) hay kilooátpic (kWp).

Hiệu suất biến đổi quang điện của pin Mặt Trời là tỷ số giữa công suất điện đỉnh và tổng năng lượng bức xạ tới pin Mặt Trời ở một nhiệt độ cho trước:

$$\eta = \frac{P_{opt}}{A.Eo}(100\%) \qquad (4.17)$$

trong đó: η - hiệu suất biến đổi quang điện (%) ;

A - diện tích bề mặt pin Mặt Trời được chiếu sáng (m^2) ;

E_o - cường độ bức xạ chuẩn = 1000 W/m^2.

Đối với pin Mặt Trời tinh thể Si thương mại, η thường vào khoảng từ (12÷15)%. Trong phòng thí nghiệm, η đã có thể đạt đến (20÷22)%.

Như đã nói, nhiệt độ có ảnh hưởng lên các đặc trưng của pin Mặt Trời. Cụ thể là, dòng quang điện tăng theo nhiệt độ với giá trị 0,1% khi nhiệt độ tăng 1^{0}C hay 0,03mA/^{0}C.cm^2. Sự tăng dòng quang điện của pin Mặt Trời là do sự giảm độ rộng vùng cấm của vật liệu E_g khi nhiệt độ tăng theo định luật:

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{aT^2}{T+b} \qquad (4.18)$$

Với a và b là các hằng số phụ thuộc vào vật liệu, $E_g(0)$ là độ rộng vùng cấm của vật liệu ở T= 0^{0}K. Bảng 4.1 cho các giá trị của $E_g(0)$, a và b của vài vật liệu pin Mặt Trời điển hình.

Bảng 4.1- Các giá trị E_g , a và b của Si và GaAs

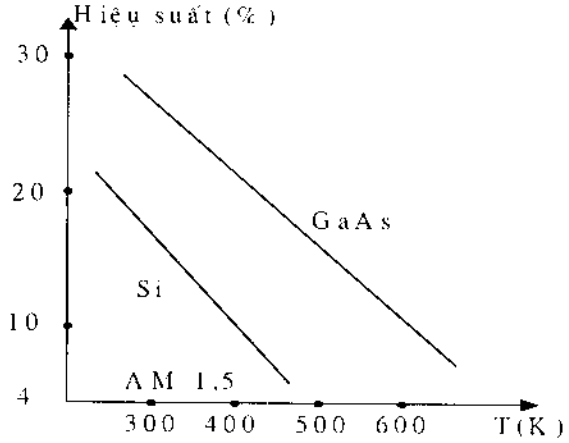
	$E_g(0)$ (eV)	a (10^{-4} eV)	b (^{0}K)
Si	1,16	7	1100
GaAs	1,52	5,8	300

Thế hở mạch V_{oc} giảm một cách tuyến tính với sự tăng nhiệt độ vì dòng bão hòa I_s tăng theo hàm mũ. Dòng bão hòa là dòng của các hạt tải không cơ bản được tạo ra do kích thích nhiệt. Sự phụ thuộc của dòng bão hoà vào nhiệt độ có thể biểu diễn như sau:

$$I_S = I_O \exp(-\frac{E_g}{kT}) \quad (4.19)$$

trong đó $I_0 = I_S (T = \infty) = qAL_D g_o$ (xem công thức 4.14) đóng vai trò là một hệ số tỷ lệ.

Kết quả là công suất cực đại có thể của pin Mặt Trời bị giảm khoảng 0,35% khi nhiệt độ tăng 1^0 C và vì thế hiệu suất của pin Mặt Trời cũng bị giảm với hệ số như vậy. Hình 4.17 biểu diễn sự giảm của hiệu suất biến đổi quang điện theo nhiệt độ đối với các vật liệu Si và GaAs.



Hình 4.17- Sự phụ thuộc của hiệu suất pin Mặt Trời vào nhiệt độ.

4.2.2.7 - Thừa số lấp đầy (Fill Factor)

Thừa số lấp đầy FF là tỷ số giữa công suất đỉnh $P_{opt} = V_{opt} \times I_{opt}$ và tích số $V_{oc} \times I_{sc}$

$$FF = \frac{V_{opt} \cdot I_{opt}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (4.20)$$

Từ biểu thức (4.17) ta có thể biểu diễn hiệu suất biến đổi quang điện của pin Mặt Trời qua thừa số lấp đầy như sau. Vì $P_{opt} = V_{opt} \cdot Iopt = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF$, nên:

$$\eta = FF \frac{V_{oc} I_{sc}}{A.Eo} (100\%) \quad (4.21)$$

Thông thường đối với các pin Mặt Trời thương mại thì giá trị của FF ≥ 0,7.

4.3. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO PIN MẶT TRỜI TINH THỂ Si

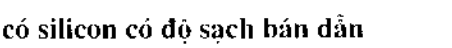
Hiện nay, khoảng 90% các pin Mặt Trời được sản xuất và ứng dụng là các pin Mặt Trời từ vật liệu silicon (Si) tinh thể hay vô định hình, nhưng chủ yếu là dạng tinh thể. Vì vậy dưới đây

ta chỉ nghiên cứu công nghệ chế tạo pin Mặt Trời tinh thể Si. Qúa trình công nghệ này bao gom 6 công đoạn như sau:

- Sơ lọc cát thạch anh để có silicon có độ sạch kỹ thuật (độ sạch luyện kim) ;
- Làm sạch tiếp để có silicon có độ sạch bán dẫn ;
- Tạo các đơn tinh thể Si từ silicon có độ sạch bán dẫn ;
- Pha tạp để có Si-n và Si-p và tạo tiếp xúc pn ;
- Tạo tiếp xúc điện, điện cực, lớp chống phản xạ ;
- Tạo modun, kiểm tra, phân loại.

4.3.1- Sơ lọc cát thạch anh để có silicon có độ sạch kỹ thuật

Cát dùng làm vật liệu ban đầu chế tạo Si phải là cát giàu thạch anh SiO_2 (hàm lượng SiO_2 vào khoảng 90% hoặc cao hơn). Trong lò hồ quang nhiệt độ cao, SiO_2 được cho phản ứng với cacbon (C) để cho silicon (Si) có độ sạch kỹ thuật theo phản ứng:



$$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO$$

4.3.2- Làm sạch tiếp để có silicon có độ sạch bán dẫn

Có ba công nghệ chính để làm sạch Si đến độ sạch bán dẫn:

- Quá trình silan ;
- Quá trình silicon fluorid ;
- Quá trình trichlorosilan.

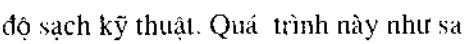
Qúa trình trichlorosilan do Công ty Siemens nghiên cứu ứng dụng là một quá trình tiêu chuẩn để làm sạch Si có độ sạch kỹ thuật. Quá trình này như sau:

Trong một thùng đựng bột Si có độ sạch kỹ thuật người ta đổ axit clohydric lỏng vào và dùng chất xúc tác là đồng, Si và HCl phản ứng theo phương trình sau đây:

$$Si + 3\,HCl \rightarrow SiHCl_3 + H_2 \uparrow$$

(trichlorosilan)

Sau đó bằng phương pháp chưng cất nhiệt người ta tạo được $SiHCl_3$ dưới dạng hạt khô và tiếp đó dùng phương pháp bốc hơi người ta thu được Si có độ sạch bán dẫn



$$SiHCl_3 \rightarrow Si + \text{khí bốc hơi}$$

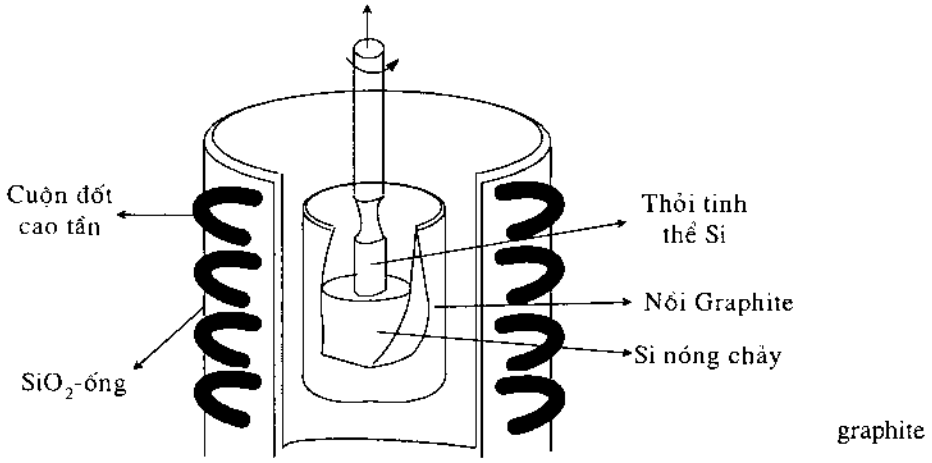
Sản phẩm thu được là vật liệu đa tinh thể gồm các hạt đơn tinh thể Si nhỏ.

4.3.3- Tạo đơn tinh thể Si

Có thể tạo các đơn tinh thể Si dưới dạng thanh (thỏi), dạng tấm hoặc dạng băng. Các công nghệ tạo đơn tinh thể được dùng phổ biến là công nghệ Czochralski, công nghệ vùng nổi và công nghệ trao đổi nhiệt. Dưới đây chúng ta sẽ giới thiệu các công nghệ đó.

a. Kỹ thuật tạo thanh đơn tinh thể Si bằng công nghệ Czochralski (Cz)

Trong kỹ thuật này người ta gắn vào đầu dưới của một cần hình trụ một mầm đơn tinh thể Si và nó được nhúng vào một nồi Si nóng chảy (hình 4.18). Sau đó vừa kéo lên vừa quay cần với một tốc độ được kiểm soát chặt chẽ (thường tốc độ kéo và quay nhỏ hơn 10cm/giờ). Si lỏng bị kéo lên, kết tinh dần và tạo thành thỏi Si đơn tinh thể. Các thỏi Si đơn tinh thể điển hình có đường kính từ 7,5 đến 10 cm và chiều dài 1 đến 1,5m. Thông thường người ta pha luôn tạp chất Bo vào nồi để có được thỏi tinh thể Si loại p. Để giảm giá thành sản phẩm người ta còn lắp đặt thêm một thiết bị cho phép liên tục cho vật liệu vào nồi và do đó có thể "kéo" liên tục các thỏi tinh thể. Dùng quá trình kéo liên tục này có thể tạo ra được các thỏi Si tinh thể có đường kính 15 cm và chiều dài 1,5 m.

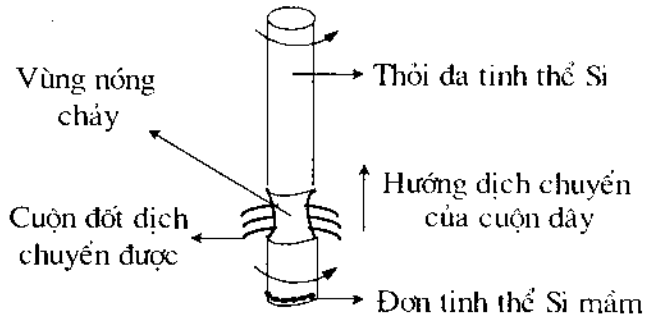


Hình 4.18- Sơ đồ chế tạo đơn tinh thể Si bằng phương pháp Cz.

b. Tạo thỏi đơn tinh thể Si bằng kỹ thuật vùng nổi

Để tiến hành tạo đơn tinh thể Si bằng kỹ thuật vùng nổi, trước hết cần một thỏi đa tinh thể (thường có dạng hình trụ) và một mầm tinh thể Si. Người ta gắn mầm vào đầu dưới của thỏi. Sau đó cả thỏi và mầm được đưa vào lòng một cuộn dây điện trở làm lò nung (hình 4.19). Cuộn dây điện trở có thể chuyển động dọc theo thỏi. Đầu tiên dịch chuyển cuộn dây để phần đa tinh thể giữa mầm và thỏi nóng chảy. Sau đó cho cuộn dây chuyển động dần lên phía trên (vùng

nóng chảy chuyển động dần lên theo cuộn dây) thì các phần thỏi đa tinh thể bị nóng chảy kết tinh lại dần dần thành một thỏi đơn tinh thể.



Hình 4.19- Sơ đồ chế tạo tinh thể Si bằng phương pháp vùng nổi.

Để hoàn thiện quá trình kết tinh đơn tinh thể có thể cho cuộn dây chạy lên xuống một số chu trình.

Nhược điểm của kỹ thuật này là khả năng tách tạp chất ra khỏi thỏi đơn tinh thể kém hơn kỹ thuật Cz vì khối lượng và thể tích vùng nóng chảy là nhỏ. Nhưng mặt khác nó có ưu điểm là tránh được sự làm bẩn thỏi tinh thể vì cuộn dây không tiếp xúc với thỏi. Trong kỹ thuật Cz, sự làm bẩn bởi oxy, do vật liệu trực tiếp được nung trong nồi, là một khó khăn đáng kể.

c. Kỹ thuật trao đổi nhiệt (HEM- Heat Exchange Method)

Trong kỹ thuật HEM, Si nóng chảy được làm đông đặc xung quanh một mầm tinh thể để tạo ra các khối đơn tinh thể Si gần hoàn hảo dạng khối trong điều kiện được kiểm soát nghiêm ngặt. Một phương pháp đúc mới cho phép dùng vật liệu nóng chảy có tạp chất thay cho mầm tinh thể ban đầu . Kỹ thuật này đã cho phép tạo được vật liệu để sản xuất các pin Mặt Trời hình vuông có hiệu suất đến 15,5%.

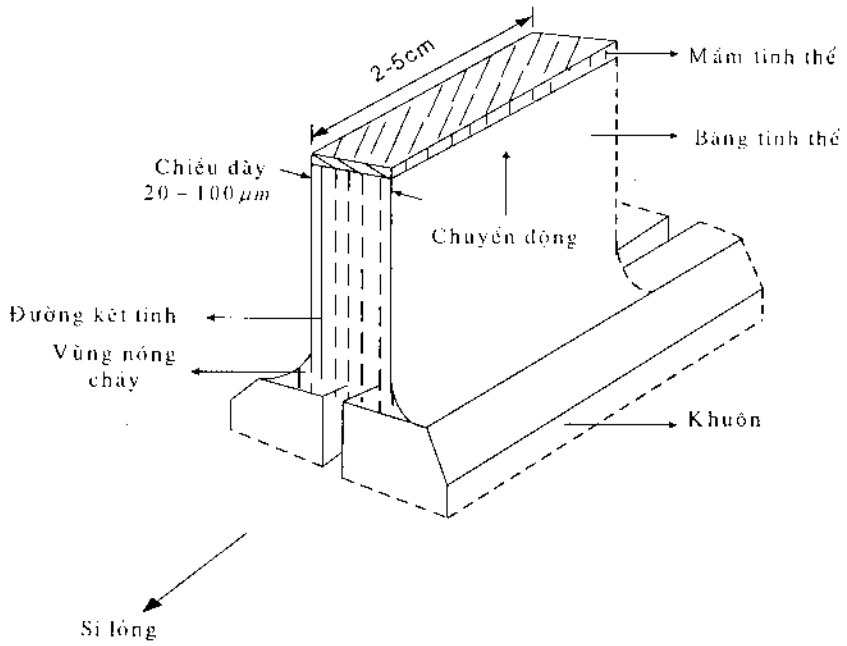
4.3.4- Cắt thỏi Si đơn tinh thể thành các phiến Si

Trước hết người ta cắt gọt khối tinh thể Si sau khi nuôi để thỏi có dạng hình trụ đồng đều, thường có đường kính D = 7,5 – 10 cm. Sau đó dùng cưa diamăng, cưa dây hoặc tia laser cắt thỏi thành các phiến hình đĩa tròn có chiều dày cỡ 0,3 – 0,5 mm. Sau đó mài nhẵn và làm sạch bề mặt các phiến bằng phương pháp ăn mòn hoá học để khử các khuyết tật bề mặt do quá trình cưa cắt gây ra. Đồng thời sự ăn mòn hoá học tạo cho bề mặt phiến bị "gồ ghề" nhằm làm giảm phản xạ ánh sáng. Khoảng 50% vật liệu bị mất đi do quá trình cưa cắt và ăn mòn này. Vì vậy, hiện nay người ta còn dùng các kỹ thuật chế tạo các đơn tinh thể Si dưới dạng băng (EFG) hoặc dạng tấm (DWG) có độ dày yêu cầu để tránh các khâu cưa cắt, ăn mòn, ...

Trong kỹ thuật "kéo" tấm đơn tinh thể bằng khuôn (EFG) người ta nhúng khuôn có một khe hẹp vào một nồi Si nóng chảy. Phía trên khuôn có đặt một mầm đơn tinh thể Si (hình 4.20). Si lỏng dâng lên theo khe do hiện tượng mao dẫn và sau đó bám vào mầm. Khi kéo tấm Si dần lên (với tốc độ khoảng 15cm/phút), Si lỏng nguội và kết tinh tạo ra băng đơn tinh thể Si, thường có độ dày 25÷100μm, độ rộng 2÷5cm. Vật liệu làm khuôn tốt nhất là graphit. Nhược điểm của kỹ thuật này là sự làm bẩn băng Si do khuôn và Si lỏng tiếp xúc trực tiếp với nhau. Ngoài ra sự ăn mòn khuôn cũng là một vấn đề lớn.

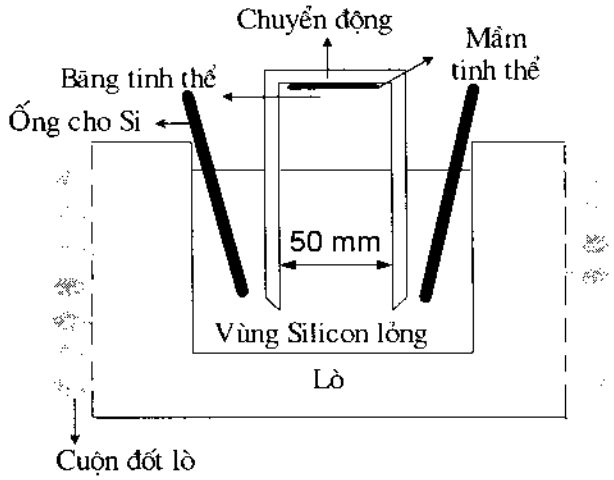
- *Kỹ thuật "kéo" tấm đơn tinh thể Si (DWG)* được thực hiện như sau:

Trước hết cần chế tạo một "khuôn" bằng đơn tinh thể Si có dạng hình máng hộp, chiều rộng khoảng 50mm, chiều dài từ 5 đến 10 cm. Sau đó nhúng đầu dưới khuôn vào nồi Si nóng chảy. Si lỏng bám vào khuôn và nguội đi một ít. Khi từ từ kéo khuôn lên thì "tấm" Si lỏng giữa khuôn bị lạnh đi và kết tinh thành tấm đơn tinh thể Si (hình 4.21). Phương pháp này tránh được sự làm bẩn tấm Si vì không dùng khuôn vật liệu khác, do đó đã cho các pin Mặt Trời có hiệu suất đến 15%.



Hình 4.20- Sơ đồ thiết bị "kéo" tấm đơn tinh thể bằng khuôn EFG.

Nhược điểm của kỹ thuật này là đòi hỏi điều chỉnh nhiệt độ chính xác và tốc độ kéo phải rất chậm. Ngoài ra người ta cũng phải cắt các tấm được kéo này để được độ dày yêu cầu và như vậy lại phải hao phí một phần vật liệu.



Hình 4.21- Sơ đồ thiết bị "kéo" tấm đơn tinh thể bằng phương pháp DWG.

4.3.5- Tạo tiếp xúc pn

Có hai phương pháp điển hình tạo lớp tiếp xúc bán dẫn pn là khuếch tán nhiệt và cấy ion.

a- Phương pháp khuếch tán nhiệt

Từ các phiến Si đơn tinh thể để có được Si loại n người ta dùng tạp là photpho (P), còn để có Si loại p dùng tạp là bo (B). Các nguồn tạp có thể là rắn như các muối P_2O_5, B_2O_3, lỏng như $POCl_3$, BBr_3 hoặc khí như PH_3, BCl_3. Qui trình công nghệ pha tạp từ các vật liệu ban đầu rắn, lỏng hoặc khí được mô tả trong các sơ đồ hình 4.22 và 4.23.

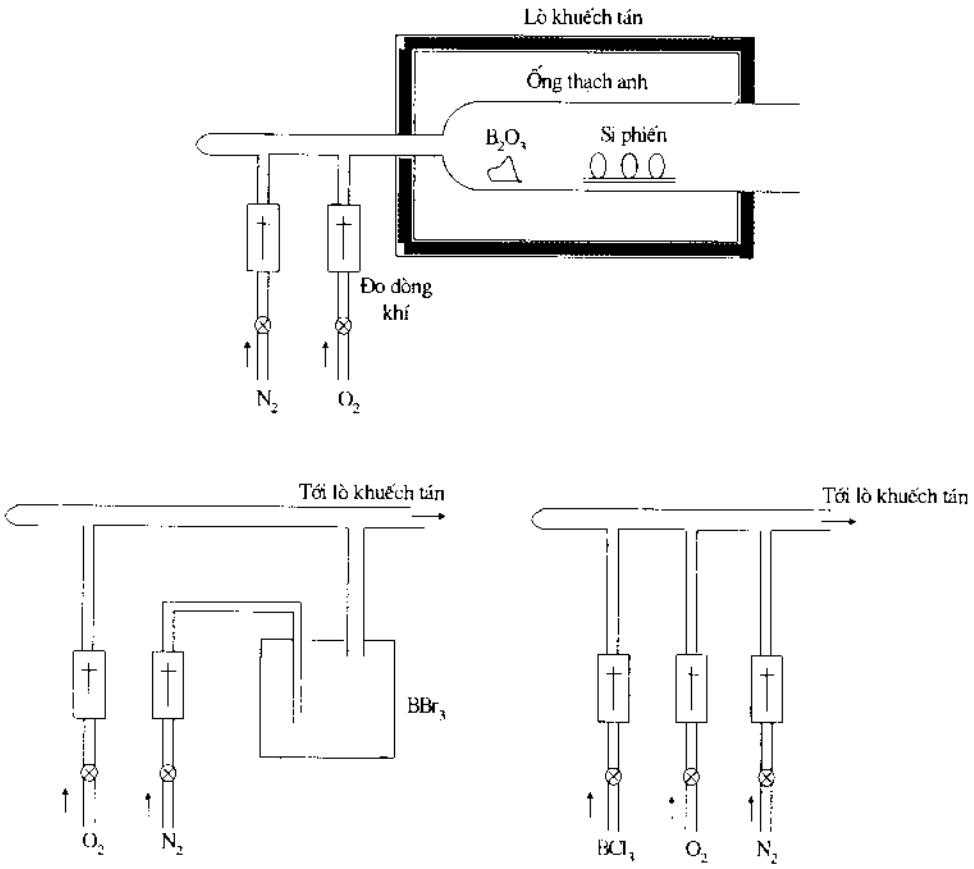
Ví dụ, để tạo n- Si, người ta đặt muối rắn P_2O_5 vào lò cùng với các phiến Si. Ở nhiệt độ khoảng 950^{0}C, P_2O_5 bị bốc hơi. Dùng hỗn hợp khí (N_2+O_2) theo một tỷ lệ thích hợp làm *khí mang* và thổi qua hơi tạp chất P_2O_5 tới các phiến Si đã được nung nóng ở nhiệt độ cao và các nguyên tử P sẽ xâm nhập vào bề mặt các phiến Si để tạo ra bán dẫn Si loại n, n-Si. Nếu nguồn tạp là lỏng như $POCl_3$ thì hỗn hợp khí mang được chọn theo tỷ lệ $N_2 : O_2 = 3 : 1$. Sau thời gian khuếch tán nhiệt khoảng 10 phút, đạt được lớp pha tạp có chiều dày cỡ 0,25μm.

Sự tạo lớp tiếp xúc pn thực hiện theo định luật khuếch tán Pick. Theo định luật này thì các nguyên tử sẽ khuếch tán từ nơi có nồng độ cao đến nơi có nồng độ thấp. Tốc độ khuếch tán và độ sâu khuếch tán phụ thuộc vào nhiệt độ và thời gian khuếch tán. Người ta dùng một tấm đế là tinh thể Si loại p (p-Si) được pha tạp bo với nồng độ 10^{16} nguyên tử bo/cm^3, sau đó phủ lên tấm đế một lớp photpho (P) và đưa vào buồng khuếch tán có nhiệt độ khoảng 900-950^{0}C. Khi P khuếch tán vào tấm đế để tạo thành một lớp n-Si có độ dày khoảng 1,2 - 1,5 μm thì người ta hạ nhiệt độ để chấm dứt quá trình khuếch tán. Lớp tiếp xúc pn là một lớp mỏng trong đó nồng độ

tạp chuyển từ P sang B và tiếp xúc pn được xem là đặt tại biên giới mà trên đó nồng độ P và B là bằng nhau.

Do nồng độ P ở bề mặt của lớp tiếp xúc rất cao thậm chí ngay cả sau quá trình khuếch tán, P và Si tác dụng với nhau tạo ra một lớp bề mặt được gọi là "lớp chết" có điện trở cao và là nguyên nhân gây ra sự tái hợp điện tử- lỗ trống, làm giảm hiệu suất của pin quang điện. Vì vậy phải cắt bỏ lớp này đi.

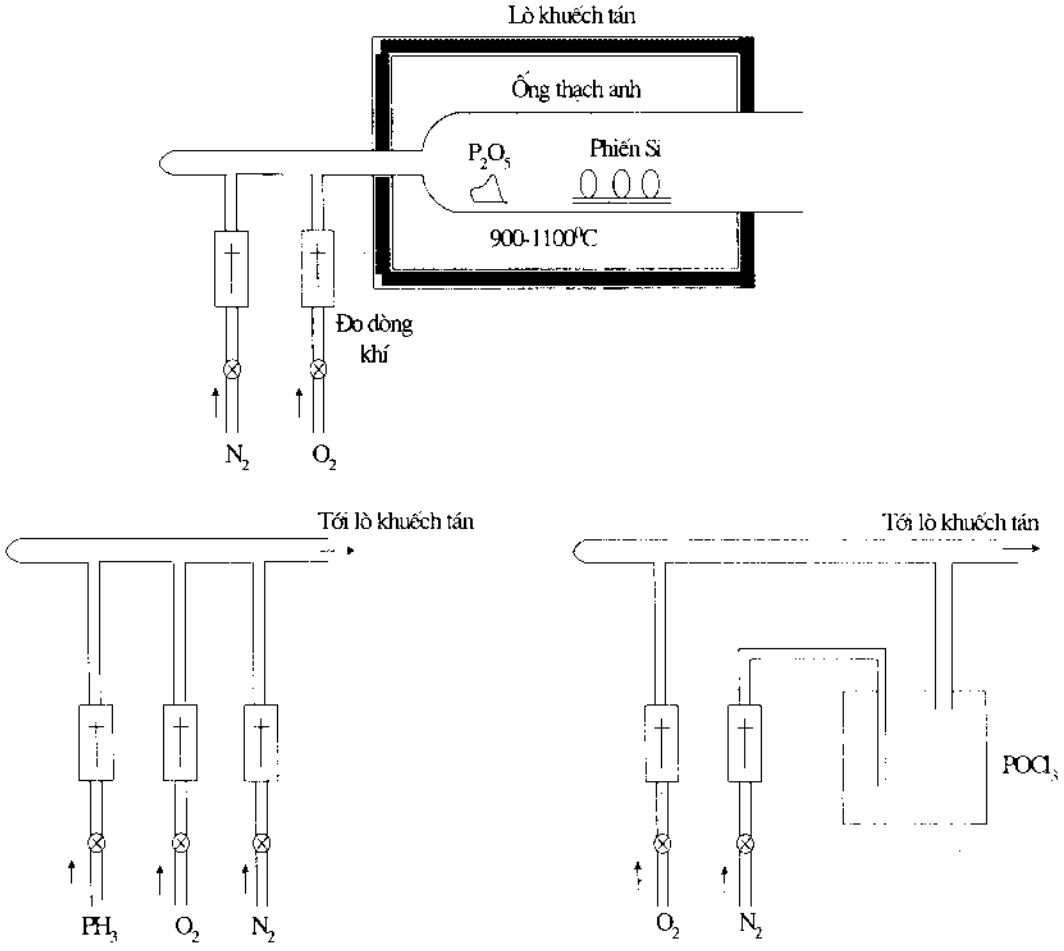
Vì hơn 50% ánh sáng Mặt Trời tới pin Mặt Trời bị hấp thụ trước hết chỉ ở một lớp bề mặt chiều dày 3μm ở sát bề mặt, phần còn lại của ánh sáng Mặt Trời được hấp thụ ở lớp tiếp theo có độ dày 300μm. Vì vậy pin Mặt Trời nên được chế tạo sao cho phía trên là một lớp Colector mỏng (chiều dày ≤ 3μm) và tiếp đó là một lớp đế dày nhưng có độ linh động của hạt tải cao để các hạt tải có thể chuyển động về lớp tiếp xúc pn và về điện cực khi chúng được tạo ra trong miền này.



Hình 4.22- Phương pháp khuếch tán nhiệt chế tạo bán dẫn tạp chất p-Si .

b- Công nghệ bắn cấy ion

Các phiến Si được đặt trước các đĩa ion năng lượng cao. Tuỳ theo muốn chế tạo n-Si hoặc p-Si mà người ta dùng các "đạn" ion là P hay B. Nhờ thay đổi cường độ tia ion có thể thay đổi chiều sâu đâm xuyên của các ion. Bề mặt Si sau đó phải ủ bằng tia laser hoặc tia điện tử để khử các hư hỏng bề mặt do ion bắn phá vào mạng tinh thể ở gần bề mặt. Lớp tiếp xúc pn tạo bằng phương pháp cấy ion không khác gì nhiều so với tạo bằng phương pháp khuếch tán nhiệt. Chiều sâu của lớp pn vào cỡ 0,25μm. Mật độ các tạp chất biến đổi từ 10^{16} nguyên tử/cm^3 ở lớp tiếp xúc đến 10^{21} nguyên tử/cm^3 tại bề mặt. Ưu điểm của phương pháp này so với phương pháp khuếch tán nhiệt là cần dùng ít năng lượng hơn, khả năng sản xuất lớn hơn vì đơn giản và dễ dàng khống chế chiều sâu lớp pha tạp và nồng độ tạp hơn.



Hình 4.23- Tạo bán dẫn n- Si bằng phương pháp khuếch tán nhiệt.

4.3.6- Tạo lớp tiếp xúc ohmic

Vật liệu làm điện cực tiếp xúc phải có độ dẫn tốt và vừa phải bám dính tốt bán dẫn. Ngoài ra đối với điện cực mặt trên cần phải thiết kế sao cho ánh sáng Mặt Trời có thể đến được tiếp xúc pn. Cần phải điều hoà giữa vấn đề che sáng và điện trở của điện cực.Thông thường tiếp xúc mặt trên được tạo dưới dạng lưới bằng vật liệu dẫn điện tốt và che không quá 10% diện tích mặt pin. Có hai phương pháp tạo điện cực thường được dùng là :

- Bốc hơi trong chân không và

- In lưới.

Tiếp xúc mặt dưới có thể đơn giản là một lớp kim loại nên không có vấn đề gì lớn.

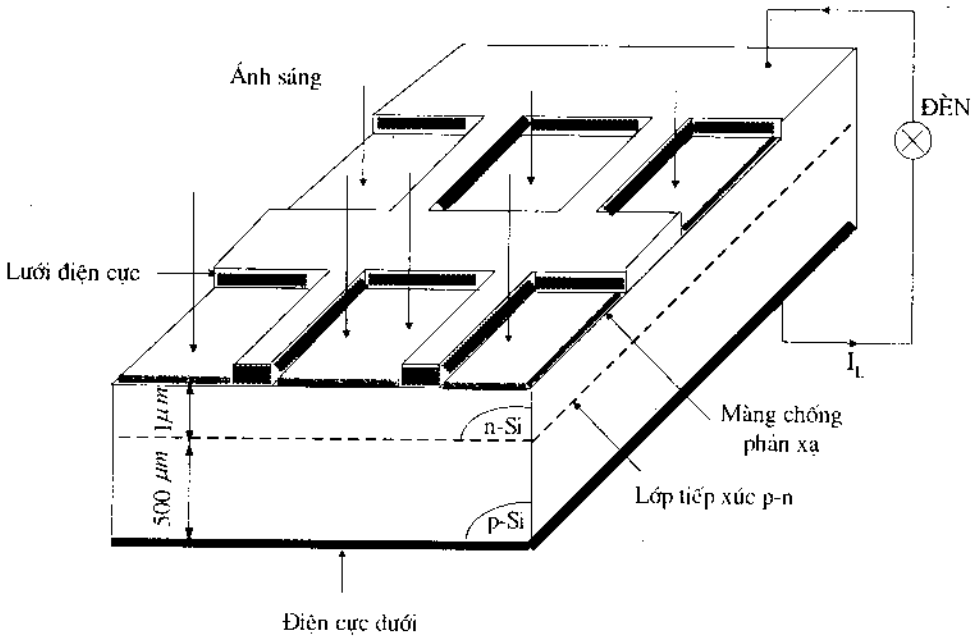
Tiếp xúc kim loại làm điện cực thường được chế tạo gồm 3 lớp:

- Lớp mỏng titan (Ti) làm lớp lót dưới cùng vì Ti bám dính Si rất tốt.

- Lớp giữa là lớp palladi (Pl) để ngăn phản ứng hoá học giữa lớp đế (Ti) và lớp trên cùng là bạc (Ag).

- Lớp bạc (Ag) trên cùng cho độ dẫn cao và dễ hàn. Các lớp tiếp xúc này sau đó phải ủ ở 500^0C- 600^0C để tạo liên kết tốt và làm giảm điện trở tiếp xúc.

4.3.7- Phủ lớp chống phản xạ ánh sáng



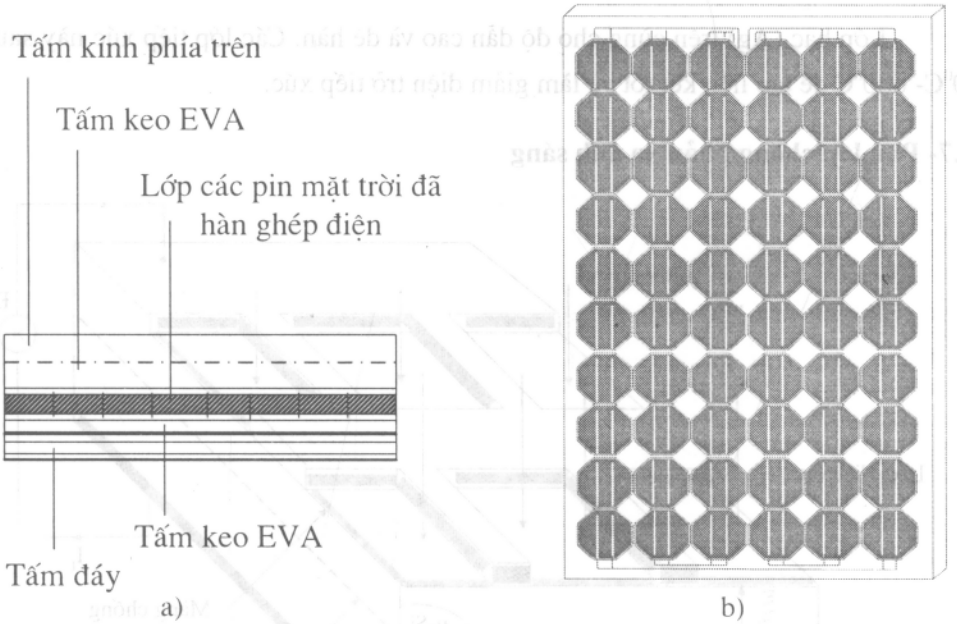
Hình 4.24- Sơ đồ cấu trúc một pin Mặt Trời Si điển hình.

Si chưa xử lý phản xạ đến 30% ánh sáng tới. Một lớp chống phản xạ như SiO_2 có thể làm giảm phản xạ xuống 10%. Nếu dùng 2 lớp chống phản xạ thì có thể làm giảm phản xạ xuống dưới 3%. Các vật liệu dùng làm vật liệu chống phản xạ là SiO_2, TiO_2 và Ta_2O_5. Công nghệ bốc hơi trong chân không là công nghệ thích hợp để tạo lớp chống phản xạ.

Hình 4.24 là sơ đồ cấu trúc một pin Mặt Trời tinh thể Si đã hoàn thiện. Nó bao gồm các thành phần: lớp chống phản xạ ánh sáng, lưới điện cực trên, tiếp xúc bán dẫn np- Si, lớp điện cực dưới.

4.3.8- Đóng gói các pin Mặt Trời thành modun

Các pin Mặt Trời sẽ phải làm việc ở điều kiện ngoài trời lâu dài. Vì vậy để bảo vệ các lớp tiếp xúc và dây nối, bảo vệ vật liệu cách điện và do đó tăng tuổi thọ pin Mặt Trời cần phải đóng kín pin Mặt Trời trong các vật liệu trong suốt. Tất nhiên không thể đóng gói từng pin một mà người ta đóng gói hàng chục pin tạo ra một modun (tấm) pin Mặt Trời. Cần phải lựa chọn các pin hoàn toàn hoặc gần hoàn toàn giống nhau về các đặc trưng quang điện và cơ học để xếp vào một modun.



Hình 4.25- Các lớp vật liệu trong một modun trước khi ép (a) và modun pin Mặt Trời hoàn thiện (b).

Trước hết dùng một tấm gọi là *tấm kết cấu* để tạo độ cứng cho modun. Tấm này có thể làm tấm mặt sau (hình 4.25a). Sau đó người ta xếp lên tấm đế một tấm keo EVA (Ethylene Vinyl Acetate) hay PVB (Polyvinyl Butyrel) trong suốt. Tiếp đó là lớp các pin Mặt Trời đã hàn nối theo thiết kế. Trên cùng là tấm thuỷ tinh chuyên dụng.

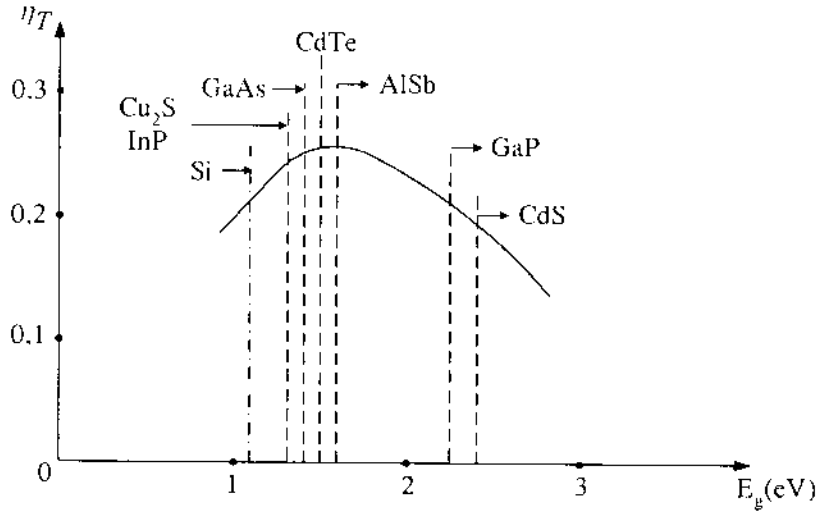
Cả hệ cấu trúc trên sau đó được đặt lên bàn ép ở trong buồng chân không có hệ gia nhiệt. Trước hết người ta tạo chân không (khoảng 10^{-1} - 10^{-4}mmHg) và sau đó nâng nhiệt độ buồng ép lên khoảng 100–130°C. Ở nhiệt độ này, các tấm keo EVA, PVB bị nóng chảy và được ép chặt lại. Hệ thống được làm nguội và ta sẽ được một modun pin Mặt Trời dưới dạng bánh kẹp và cách ly hoàn toàn với môi trường (trừ các đầu điện cực). Cuối cùng người ta lắp khung cho modun (hình 4.25b).

Việc đo đạc, kiểm tra các thông số quang điện được tiến hành nghiêm ngặt đối với từng pin Mặt Trời (sau công đoạn 4.3.7) và modun (sau công đoạn 4.3.8). Bức xạ để kiểm tra nguồn có thể là bức xạ Mặt Trời tự nhiên hoặc nhân tạo có cường độ chuẩn E_o = 1 000W/m^2 và đo ở nhiệt độ chuẩn T_o = 25°C.

4.4. CÁC VẬT LIỆU VÀ PIN MẶT TRỜI VÔ ĐỊNH HÌNH

4.4.1- Vật liệu pin Mặt Trời

Thông số quan trọng ảnh hưởng đến hiệu suất biến đổi quang điện của một vật liệu pin Mặt Trời là độ rộng vùng cấm của nó (biểu thức 4.3). Lý thuyết và thực nghiệm đã cho thấy rằng, để có hiệu suất $\eta \geq 8\%$ thì độ rộng vùng cấm của vật liệu phải ở trong khoảng 1,0 eV ÷ 1,6 eV. Hình 4.26 cho thấy sự phụ thuộc của hiệu suất biến đổi quang điện vào độ rộng vùng cấm E_g của một số vật liệu ở 300K.



Hình 4.26- Sự phụ thuộc của hiệu suất quang điện vào độ rộng vùng cấm của vật liệu ở 300K.

Ta thấy rằng, Si có vùng cấm E_g = 1,16 eV không phải là vật liệu tốt nhất để sản xuất pin Mặt Trời. Nhưng trên thị trường pin Mặt Trời thế giới hiện nay, hơn 90% là pin Mặt Trời Si vì rằng Si là vật liệu chính của công nghiệp điện tử. Nó đã được nghiên cứu khá đầy đủ và đã

được sản xuất ở quy mô công nghiệp. Các vật liệu khác như InP, GaAs, CdTe, AlSb, InP,... có độ rộng vùng cấm cũng nằm trong giới hạn cho hiệu suất cao nói trên. Các pin Mặt Trời từ các vật liệu này thường được chế tạo dưới dạng màng mỏng vô định hình. Bảng 4.2 cho hiệu suất biến đổi quang- điện lý thuyết của một số vật liệu pin Mặt Trời.

***Bảng 4.2*- Hiệu suất lý thuyết của một số vật liệu pin Mặt Trời**

Vật liệu	Năng lượng vùng cấm (eV)	Hiệu suất lý thuyết cực đại (%)
Indi diselenid (CuInSe2)	1.04	13
Cadmi sulfid (CdS)	2.6	18
Silicon (Si)	1.1	22
Cadmi tellurid (CdTe)	1.4	25
Indi phosphorid (InP)	1.2	26
Gali arsenid (GaAs)	1.4	27
Alumi antimonid (AlSb)	1.6	27

Vấn đề giá cao của các pin Mặt Trời tinh thể Si là một trong những khó khăn chính của ứng dụng pin Mặt Trời hiện nay. Một trong các công nghệ triển vọng để giảm giá pin Mặt Trời là công nghệ màng mỏng vô định hình. Ngoài ra, nhờ công nghệ này người ta không những chế tạo được các pin có một lớp tiếp xúc pn diện tích lớn mà còn có thể tạo được các pin Mặt Trời gồm nhiều lớp tiếp xúc pn nối tiếp nhau cho hiệu suất biến đổi quang- điện khá cao.

4.4.2- Vật liệu cho pin Mặt Trời màng mỏng

Bảng 4.3 trình bày một số vật liệu pin Mặt Trời màng vô định hình đã được nghiên cứu, phát triển. Từ bảng này ta thấy có một số vật liệu không có tính dẫn điện lưỡng tính (p và n). Vì vậy đối với các vật liệu này người ta thường dùng các cấu trúc như pin Mặt Trời bất đồng chất, hàng rào Schottky hoặc cấu trúc MIS (kim loại- cách điện- bán dẫn).

Các công nghệ thông dụng nhất để chế tạo pin Mặt Trời màng mỏng đang được nghiên cứu ứng dụng hiện nay bao gồm:

a- Các quá trình chân không

- Lắng đọng từ pha hơi (Evaporation Physical Vapour Deposition) PVD
- Epitaxy tường nóng (Hot Wall Epitaxy) HWE
- Lắng đọng sôi/ trào (Sputter Deposition) SD

b- Các quá trình kèm theo phản ứng hoá học từ pha hơi:

- Lắng đọng hơi hoá học (Chemical Vapour Deposition) CVD

- Phản ứng hơi rắn (Solid Vapour Reaction) SVR

c- Các quá trình khác:

- Lắng đọng điện (Electrodeposition) ED

- In lưới (Screen Printing) IP

Một số công nghệ trong bảng có thể trực tiếp chế tạo được các pin có chất lượng cao, nhưng một số phương pháp khác lại đòi hỏi các xử lý phụ kèm theo như ủ ở nhiệt độ cao, ủ trong môi trường khí đặc biệt, v.v...

***Bảng 4.3*- Các vật liệu đối với pin Mặt Trời màng mỏng**

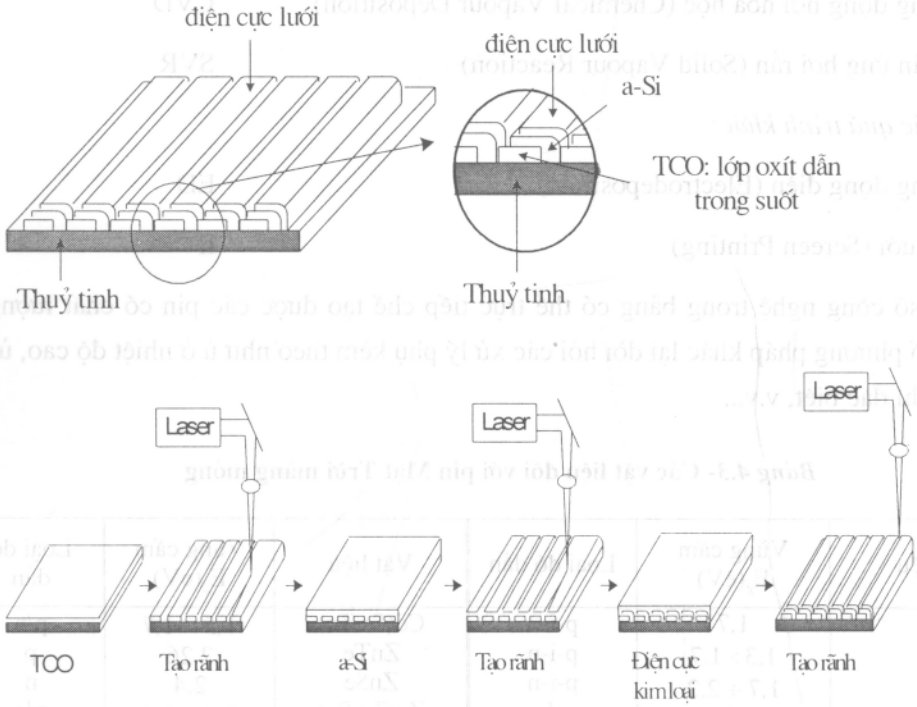
Vật liệu	Vùng cấm E_g(eV)	Loại độ dẫn	Vật liệu	Vùng cấm E_g(eV)	Loại độ dẫn
a- Si	1,7	p-i-n	Cd(Se,Te)	1,5 ÷ 1,7	p/n
a-(Si,Ge)	1,3÷ 1,7	p-i-n	ZnTe	2,26	p
a- (Si-, C)	1,7 ÷ 2,2	p-i-n	ZnSe	2,4	n
$CuInSe_2$	1,04	p/n	Zn(Te,Se)	2,2 ÷ 2,4	p/n
$CuGaSe_2$	1,68	p	WSe_2	1,3	p/n
$Cu(In,Ga)Se_2$	1,04÷ 1,68	p/n	FeS_2	0,8	p/n
$CuInS_2$	1,5	p/n	$FeSi_2$	0,9	p
CdSe	1,7	n	GaAs	1,4	p/n
CdTe	1,5	p/n			

Ưu điểm lớn nhất của các kỹ thuật pin Mặt Trời màng mỏng là khả năng tạo ra các cấu trúc modun bằng cách áp dụng liên tiếp các phương pháp mặt nạ, in lưới hay cắt bằng tia laser như được trình bày trong sơ đồ hình 4.27.

Vì vậy người ta có thể tạo ra các pin Mặt Trời cấu trúc nhiều lớp phức tạp, có hình dạng tuỳ ý.

Hiện nay hiệu suất của các pin Mặt Trời vô định hình đã đạt được khá cao, trong khoảng từ 8 đến 15%. Tuy nhiên một khó khăn khác đang được quan tâm nghiên cứu giải quyết là độ ổn định theo thời gian của hiệu suất biến đổi quang - điện của pin khi làm việc ngoài trời dài ngày.

Dưới đây sẽ trình bày một cách tỷ mỉ hơn các công nghệ chế tạo pin Mặt Trời màng mỏng trên một số vật liệu quan trọng.



Hình 4.27- Công nghệ chế tạo modun pin Mặt Trời vô định hình a-Si.

4.4.3- Pin Mặt Trời màng mỏng

4.4.3.1- Pin Mặt Trời vô định hình Si (a-Si)

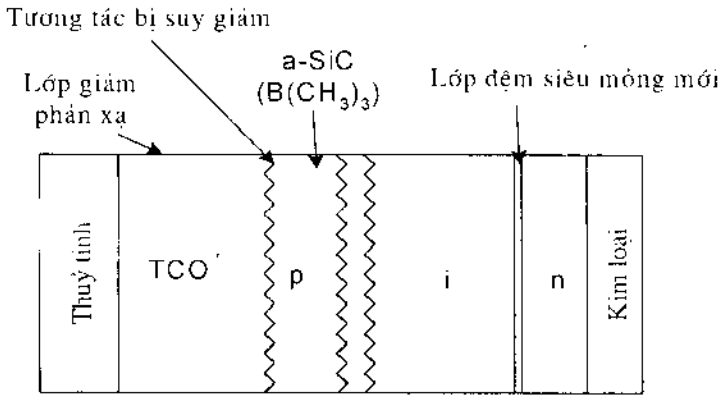
Silicon ở trạng thái vô định hình có các tính chất lý hoá khác Si tinh thể. Ví dụ như vùng cấm của a-Si là vùng cấm trực tiếp có độ rộng khoảng 1,7 eV và có thể thay đổi một cách liên tục từ 1,3 eV đến 2,2 eV nhờ các pha tạp Ge và C. Độ linh động của các hạt tải bị giảm mạnh so với trong Si tinh thể. Vì vậy để tăng quá trình góp điện tích cần phải đặt vào lớp tiếp xúc pn một điện trường cuốn.

Một pin Mặt Trời màng mỏng a- Si là cấu trúc p- i - n (hình 4.28) chỉ có tổng độ dày nhỏ hơn 1 μm, nên rất tiết kiệm về mặt vật liệu.

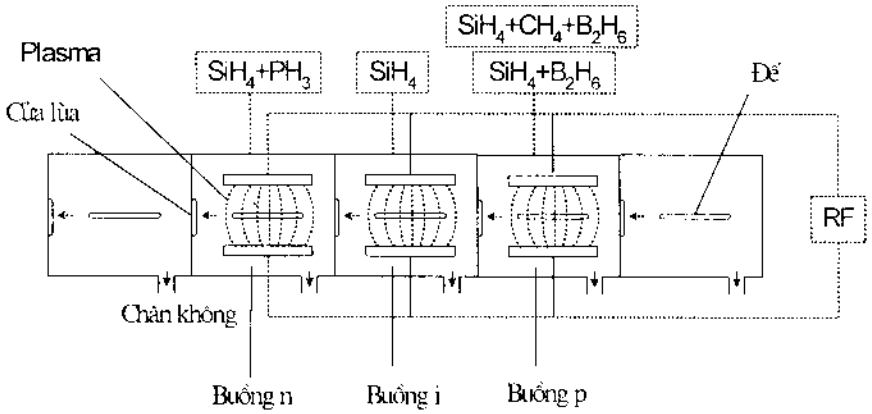
Vì các lớp chuyển TCO/ P- SiC; và i/n đã được xác định là nguyên nhân chính gây ra tổn hao do tái hợp các hạt tải, nên cấu trúc p- i- n đơn giản ban đầu đã được cải tiến bằng cách đưa vào các lớp đệm pha tạp với nồng độ thích hợp và thậm chí có cấu trúc siêu mạng.

Sự chế tạo các lớp màng a- Si thường được thực hiện nhờ công nghệ lắng đọng hơi hoá

học (CVD) từ hỗn hợp silan. Để tạo cấu trúc p-i- n người ta dùng một dây chuyền nhiều buồng nối tiếp như trên hình 4.29. Công nghệ nhiều buồng nối tiếp này tránh được sự làm bẩn vật liệu do các tạp chất đưa vào.



Hình 4.28- Tiết diện ngang của pin Mặt Trời loại này a-SiC.

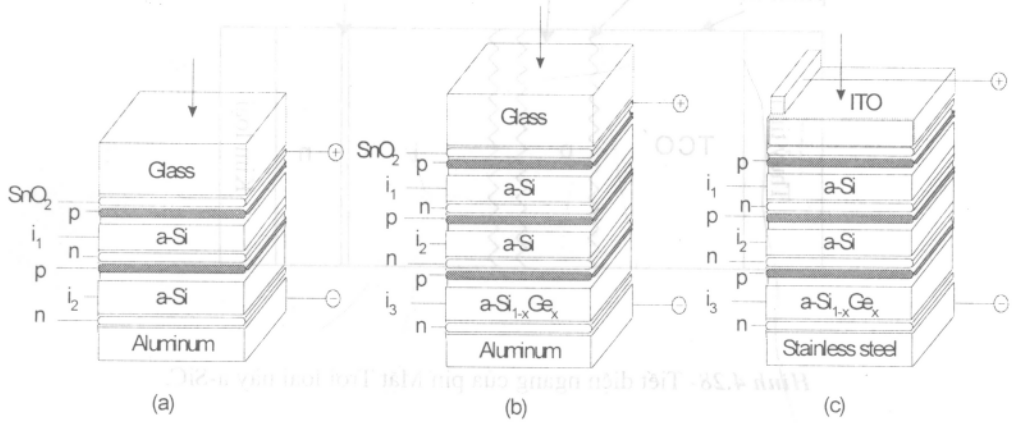


Hình 4.29- Sơ đồ dây chuyền sản xuất pin Mặt Trời a-Si.

Hiệu suất biến đổi quang - điện của PMT màng mỏng a- Si có thể đạt đến 13%. Nhưng có một vấn đề rất đáng được quan tâm là quá trình "già hoá" (giảm hiệu suất theo thời gian) của pin Mặt Trời loại này khá nhanh. Quá trình già hoá này lại có thể bị gia tốc mạnh hơn do sự tồn tại các "liên kết quả lắc" (dangling bonds) trong vật liệu khối, nó đóng vai trò như các tâm tái hợp có thể gây ra các tổn hại như phá vỡ các liên kết yếu (Si- H, Si- Si) và hoặc phá vỡ các liên kết cặp. Cơ chế này phải được xem như là một vấn đề thuộc tính của pin Mặt Trời a- Si.

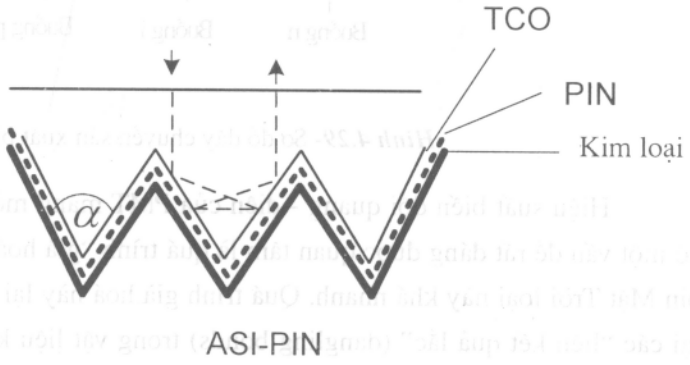
Sự cải thiện tính ổn định của pin Mặt Trời a- Si không thể chỉ có nâng cao chất lượng của vật liệu, mà quan trọng hơn là tìm các cấu trúc thích hợp.

Trên hình 4.30 trình bày một cấu trúc pin nhiều lớp tiếp xúc. Với cấu trúc này người ta đã thu được các pin Mặt Trời có hiệu suất khá ổn định từ 10 đến 11,3%. Ngoài ra, một cấu trúc khác là "pin Mặt Trời gấp" như chỉ ra trên hình 4.31 cũng đã được thử nghiệm. Cấu trúc này cho "độ dày quang học" lớn hơn một cách đáng kể so với " độ dày điện tử" của pin.



Hình 4.30 - Các cấu trúc pin Mặt Trời màng mỏng có 2 và nhiều lớp tiếp xúc:
(a) cùng vật liệu; (b) vật liệu khác nhau trên đế Al; (c) vật liệu khác nhau trên đế thép không gỉ.

Về mặt giá cả thì hiện nay giá đơn vị (tính trên 1 Wp) của modun pin Mặt Trời a- Si cũng vào cỡ giá của modun Si tinh thể. Sở dĩ như vậy là do với công nghệ sản xuất pin a- Si hiện nay có tốc độ tạo màng còn thấp (khoảng 1μm/giờ). Để giảm giá thành, con đường duy nhất là phải làm tăng quá trình sản xuất lên khoảng 10 lần mà không làm giảm chất lượng pin Mặt Trời. Hiện nay người ta đã phát triển công nghệ tia lửa điện siêu cao tần. Theo dự báo, áp dụng công nghệ mới này có thể giảm giá pin Mặt Trời a- Si xuống 0,35USD/Wp. Đối với việc sản xuất các pin a- Si có diện tích lớn đòi hỏi những biện pháp đặc biệt để duy trì sự đồng nhất của các dòng khí và hỗn hợp khí cũng như sự phân bố điện trường và các thông số plasma khác. Vì vậy người ta đã thiết kế một loại thiết bị mới được gọi là "lò phản ứng" hay "buồng phasma" để sản xuất pin Mặt Trời a- Si.



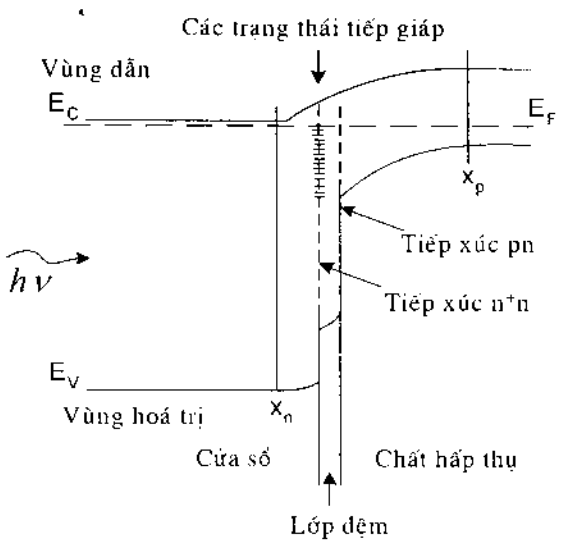
Hình 4.31- Cấu trúc gấp của một pin Mặt Trời vô định hình Si với sự làm tăng độ hấp thụ trong các màng mỏng I (100nm).

4.4.3.2- Pin Mặt Trời vô định hình bán dẫn hợp chất

Như đã cho thấy trong bảng 4.2, phần lớn các bán dẫn tạp chất thích hợp đối với pin Mặt Trời vô định hình có độ dẫn loại n hay p. Vì vậy việc tạo ra các lớp tiếp xúc pn hay p- i- n theo phương pháp như của a-Si là không phù hợp. Đối với các pin Mặt Trời màng mỏng bán dẫn hợp chất người ta thường phải dùng cấu trúc lớp tiếp xúc khác chất (heterojunction) hoặc cấu trúc MIS (Metal – Isolation- Semiconductor).

Để nâng cao hiệu suất, ánh sáng tới cần bị hấp thụ ở miền lân cận lớp tiếp xúc pn. Vì vậy trong trường hợp của cấu trúc tiếp xúc khác chất hay kiểu cấu trúc khác chất được tạo bởi tổ hợp "cửa sổ"- "hấp thụ" thì cơ cấu các lớp tiếp xúc "nông" là thích hợp hơn cả.

Hình 4.32 cho thấy một sơ đồ vùng năng lượng của một lớp tiếp xúc khác chất chỉ ra nguyên lý *cửa sổ - hấp thụ*: ánh sáng tới bị hấp thụ trực tiếp ở lớp tiếp xúc pn, nếu vùng cấm của cửa sổ loại n là đủ lớn.



Hình 4.32- Sơ đồ vùng năng lượng của một lớp tiếp xúc khác chất có cửa sổ nhiều lớp.

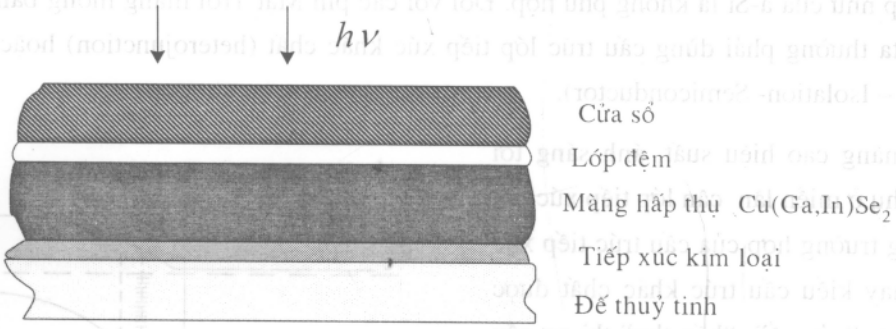
Mặt khác, vật liệu làm cửa sổ và hấp thụ phải phù hợp với nhau về hằng số mạng tinh thể, hệ số giãn nở nhiệt và lực liên kết điện tử để duy trì mật độ trạng thái thấp ở miền tiếp xúc (xem hình 4.32) nó đóng vai trò như các tâm tái hợp và không làm tổn hao điện thế. Cũng như đã cho thấy trên hình, các lớp màng đệm là cần thiết để liên kết giữa lớp cửa sổ và lớp hấp thụ. Việc lựa chọn một lớp đệm thích hợp là vấn đề rất quan trọng để nâng cao hiệu suất pin.

4.4.3.3- Pin Mặt Trời trên cơ sở vật liệu $CuInSe_2$

Pin Mặt Trời vô định hình hệ $CuInSe_2$ có hiệu suất tương đối cao được chế tạo bằng cách bốc hơi đồng thời Cu, In và Se lên một đế thuỷ tinh đã phủ một lớp mỏng Mo và sau đó được kế tiếp một màng cửa sổ CdS hoặc (Zn, Cd)S. Hình 4.33 là sơ đồ cấu trúc PMT loại này.

Màng mỏng 4 thành phần $Cu(In, Ga)Se_2$ (viết tắt là CIGS) cho phép rất nhiều khả năng lựa chọn độ rộng vùng cấm của vật liệu hấp thụ. Đây là vật liệu và cấu trúc cho phép thu được hiệu suất cao nhất và do đó nó là pin Mặt Trời có nhiều triển vọng nhất.

Tuy nhiên, so với a-Si, vật liệu mà đã được nghiên cứu và hiểu biết tương đối cặn kẽ, thì các vật liệu trên cơ sở hệ $CuInSe_2$ vẫn còn nhiều vấn đề chưa được hiểu biết rõ ràng. Ví dụ như các vấn đề về động học các phản ứng tạo thành hợp chất, các tính chất của biên giới hạt,v.v...

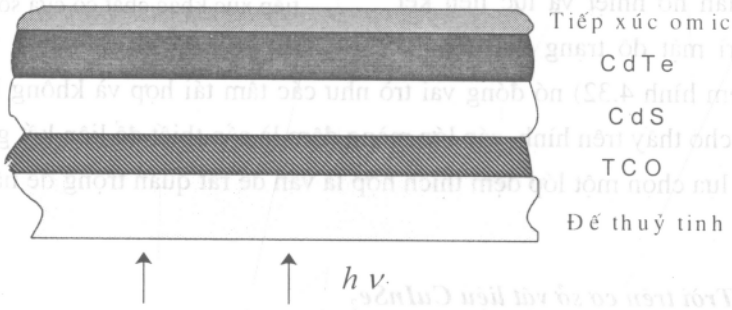


Hình 4.33- Cấu trúc điển hình của một pin Mặt Trời màng mỏng hệ $CuInSe_2$

4.4.3.4- Pin Mặt Trời trên cơ sở vật liệu CdTe (CdTe)

Ưu điểm của PMT hệ CdTe là ít phụ thuộc vào công nghệ chế tạo, các phương pháp chế tạo khác nhau cho PMT có phẩm chất không hơn kém nhiều.

Hình 4.34 là sơ đồ một pin Mặt Trời hệ CdTe. Với các pin có diện tích $1 \div 4$ cm^2 người ta đã thu được hiệu suất từ $10 \div 17\%$.



Hình 4.34- Sơ đồ cấu trúc của một pin Mặt Trời hệ vật liệu CdTe.

4.5- PIN MẶT TRỜI NHIỀU MỨC NĂNG LƯỢNG

4.5.1- Nguyên lý của pin Mặt Trời nhiều mức năng lượng

Cho đến đây ta chỉ mới nghiên cứu sơ đồ hệ thống pin Mặt Trời hai mức hay hai vùng năng lượng và đã chỉ ra rằng giới hạn thực tế của hiệu suất biến đổi năng lượng của pin Mặt Trời ở 25 °C trên hệ hai mức là 0,25. Một trong các lý do quan trọng của hiệu suất thấp trong hệ

thống hai mức là vì hệ chỉ hấp thụ các photon tới có năng lượng thoả mãn điều kiện $h\nu > E_g = E_2 - E_1$. Tất cả các photon có năng lượng $h\nu < E_g$ bị truyền qua vật liệu mà không gây ra hiệu ứng quang điện. Vì vậy, người ta đã tìm kiếm các sơ đồ khác để có thể tận dụng phần năng lượng truyền qua và do đó có thể vượt qua giới hạn hiệu suất nói trên. Dưới đây ta sẽ nghiên cứu các hệ thống pin Mặt Trời bao gồm một số mức năng lượng.

Trước hết xét sơ đồ hệ thống gồm 3 hệ hai mức năng lượng có năng lượng vùng cấm giảm dần $E_{g1} > E_{g2} > E_{g3}$ (hay $\lambda_{c1} < \lambda_{c2} < \lambda_{c3}$) như hình 4.35. Ánh sáng được chiếu tới từ vật liệu có năng lượng cấm lớn E_{g1}. Các photon có năng lượng $h\nu > E_{g1}$ sẽ bị hệ thứ nhất hấp thụ. Còn các photon có năng lượng $h\nu < E_{g1}$ sẽ tới được lớp tiếp xúc thứ 2. Sau đó các photon có $h\nu < E_{g2}$ lại tiếp tục tới lớp tiếp xúc tiếp theo.

Như vậy, một sơ đồ như trên có thể hấp thụ tất cả các photon có năng lượng

$$h\nu > E_{g3} \; ; \; E_{g3} << E_{g1} \tag{4.22}$$

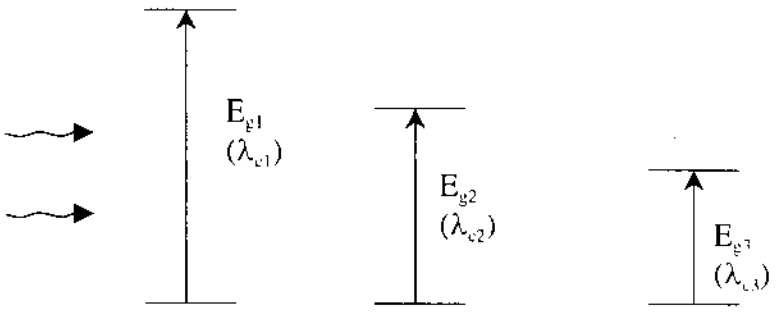
thay vì chỉ có một phần photon có năng lượng $h\nu > Eg_1$ bị hấp thụ như trong sơ đồ hệ thống hai mức. Như vậy rõ ràng hiệu suất của sơ đồ 3 hệ thống này sẽ cao hơn.

Năng lượng của bức xạ Mặt Trời (photon) được biến đổi thành điện năng qua hệ thống trên có thể biểu diễn như sau:

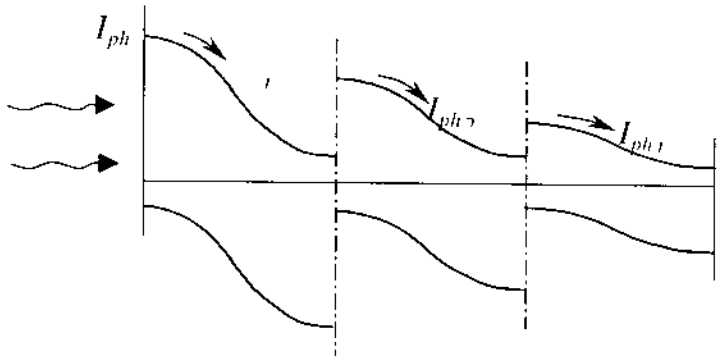
$$E = E_{g_1} \int_0^{\lambda_{c1}} J_\lambda \, d\lambda + E_{g_2} \int_{\lambda_{c1}}^{\lambda_{c2}} J_\lambda \, d\lambda + E_{g_3} \int_{\lambda_{c2}}^{\lambda_{c3}} J_\lambda \, d\lambda \tag{4.23}$$

trong đó J_λ là mật độ photon có bước sóng λ; λ_{c1}, λ_{c2}, λ_{c3} là các bước sóng giới hạn quang điện trên các vật liệu có năng lượng cấm E_{g1}, E_{g2}, E_{g3}.

Sơ đồ hàng rào thế trên hệ thống tổ hợp gồm 3 hệ con trình bày trong hình 4.35.



Hình 4.35- Cấu trúc PMT nhiều mức.



Hình 4.36- Sơ đồ các vùng năng lượng trong PMT gồm 3 lớp tiếp xúc.

Về nguyên tắc khi tăng số lượng hệ thống con thì số photon bị hấp thụ cũng tăng lên và do đó hiệu suất biến đổi quang điện cũng tăng theo.

Từ hình 4.36 ta có thể thấy rằng hệ thống gồm 3 lớp tiếp xúc pn được nối tiếp nhau. Vì vậy dòng quang điện được tạo ra trong các lớp con phải bằng nhau, tức là:

$$I_{ph_1} = I_{ph_2} = I_{ph_3} = qK\int_{\lambda_{c_{n-1}}}^{\lambda_{c_n}} J_\lambda d\lambda = qkN_{ph} \qquad (4.24)$$

Điện thế hở mạch trên một lớp tiếp xúc pn có thể viết:

$$V_{ocn} = \frac{E_{g_n}}{q} - \frac{kT}{q}\ln\frac{Ag_0L_D}{qKN_{ph}} \qquad (4.25)$$

Do đó tổng điện thế hở mạch $V_o = V_{oc}$ trên cả hệ thống là:

$$V_0 = \sum_n V_{0n} = V_{01} + V_{02} + V_{03} \qquad (4.25)$$

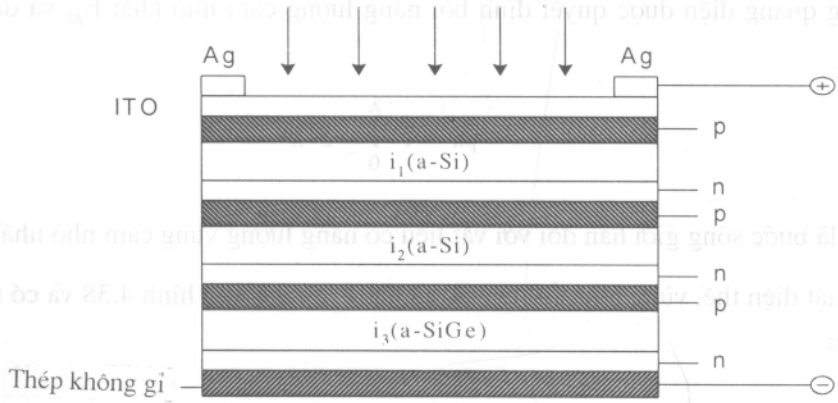
và công suất điện năng được sản xuất ra là:

$$P_m = \sum_n fV_{oc}I_{ph} = qfKN_{ph}\left[\sum_n \frac{E_{g_n}}{q} - n\frac{kT}{q}\ln\frac{Ag_0L_D}{qKN_{ph}}\right] \qquad (4.26)$$

trong đó f là thừa số lấp đầy, n là số lớp tiếp xúc.

Rõ ràng từ (4.26) ta có thể thấy hiệu suất biến đổi quang - điện là một hàm số của số hệ con n.

Pin Mặt Trời có cấu trúc nhiều lớp xếp chồng lên nhau được gọi là pin Mặt Trời xếp chồng hay "bánh kẹp" (tandem) (hình 4.29, 4.37) .

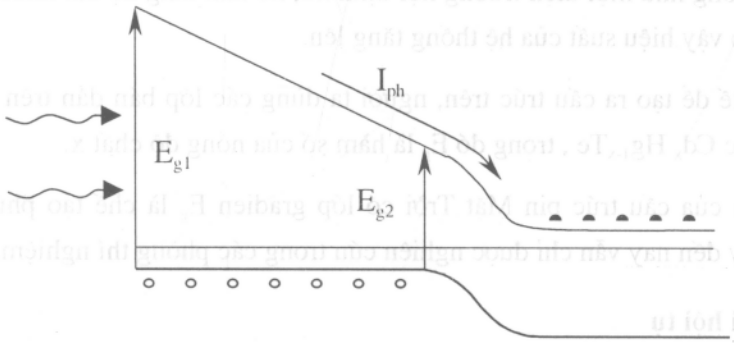


Hình 4.37- Cấu trúc một pin Mặt Trời 3 lớp tiếp xúc.

Hiệu suất biến đổi của một hệ thống có thể đạt đến 40% đối với số n đủ lớn. Trong thực tế do khó khăn về vật liệu nên số n bị giới hạn. Ngoài ra hiệu suất chỉ tăng đáng kể khi n còn nhỏ, còn khi n lớn sự tăng hiệu suất là không nhiều. Vì vậy, ý tưởng xây dựng một hệ thống PMT nối tiếp nhiều lớp tiếp xúc thực tế chỉ giới hạn với n = 3 ÷ 4.

4.5.2- Pin Mặt Trời có độ rộng vùng cấm giảm dần

Pin Mặt Trời có độ rộng vùng cấm giảm dần (The graded band gap cell - GBGC) có thể coi như một hệ thống tổ hợp gồm rất nhiều lớp tiếp xúc. Hình 4.38 là sơ đồ năng lượng của hệ thống GBGC. Năng lượng vùng cấm E_g giảm dần từ giá trị E_{g1} đến giá trị E_{g2}, trong đó E_{g1} là lớp bề mặt, còn E_{g2} là lớp tiếp xúc pn. Vùng chuyển tiếp có thể xem như là một vùng có thế năng biến đổi $E_{g1} - E_{g2}$ và là một máy phát quang - điện. Hàng rào thế năng pn tác dụng như một máy phát quang - điện thứ 2. Dòng quang - điện được phát ra bị giới hạn bởi năng lượng cấm E_g của vật liệu có năng lượng cấm nhỏ nhất, tức là E_{g2}.



Hình 4.38- Sơ đồ năng lượng của lớp tiếp xúc của vật liệu có năng lượng cấm giảm dần.

Dòng quang điện được quyết định bởi năng lượng cấm nhỏ nhất E_{g2} và được biểu diễn như sau:

$$I_{ph} = qK\int_0^{\lambda} \lambda c_2 J_{\lambda} d\lambda \qquad (4.27)$$

·ong đó λ_{c2} là bước sóng giới hạn đối với vật liệu có năng lượng vùng cấm nhỏ nhất E_{g2}.

Về mặt điện thế, vùng chuyển tiếp tạo ra hàng rào thế như hình 4.38 và có thể biểu biểu diễn như sau:

$$V_{01} = \frac{E_{g1} - E_{g2}}{q};$$

$$V_{02} = \frac{E_{g2}}{q} - \frac{kT}{q} \ln \frac{Ag_0 L_D}{I_{ph}}$$

$$V_0 = V_{01} + V_{02}.$$

nên điện thế tổng cộng sẽ là:

$$V_O = \frac{E_{g1}}{q} - \frac{kT}{q} \ln \frac{Ag_0 L_D}{I_{ph}} \qquad (2.28)$$

Như vậy điện thế V_o được xác định từ năng lượng cấm cao nhất E_{g1}, trong lúc đó dòng quang điện lại được xác định bởi năng lượng cấm thấp nhất E_{g2}. Các hạn chế của hệ thống hai mức năng lượng được khắc phục. Loại cấu trúc này có một số ưu điểm đặc biệt. Sự tạo ra một gradien E_g tương đương như một điện trường nội định xứ, nó làm tăng độ dài khuếch tán của cặp điện tử- lỗ trống. Do vậy hiệu suất của hệ thống tăng lên.

Trong thực tế để tạo ra cấu trúc trên, người ta dùng các lớp bán dẫn trên cơ sở các bán dẫn $Ga_x Al_{1-x}As$ hoặc $Cd_x Hg_{1-x}Te$, trong đó E_g là hàm số của nồng độ chất x.

Nhược điểm của cấu trúc pin Mặt Trời có lớp gradien E_g là chế tạo phức tạp nên giá thành lại cao. Vì vậy đến nay vẫn chỉ được nghiên cứu trong các phòng thí nghiệm.

4.5.3- Pin Mặt Trời hội tụ

Hiệu suất của pin Mặt Trời cũng có thể được tăng lên nếu làm tăng cường độ bức xạ Mặt Trời tới pin. Muốn vậy người ta dùng các hệ thống hội tụ ánh sáng trước khi cho đọi tới bề mặt làm việc của pin. Những công trình công bố trong những năm gần đây cho những kết quả rất

đáng quan tâm dưới đây. Nếu hội tụ ánh sáng lên 500 lần thì:

- Pin Mặt Trời GaAs cho hiệu suất tới 28%.

- Pin Mặt Trời hệ GaInP cho hiệu suất 27%.

- Pin Mặt Trời GaAs/InGaAs và GaAs / Si cho hiệu suất lớn hơn 30%.

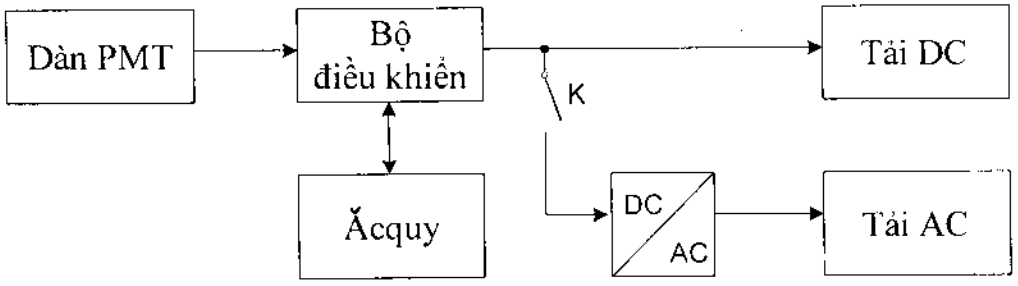
Những pin Mặt Trời hội tụ phải là những pin có khả năng chịu được nhiệt độ cao. Ngoài ra do phải có thêm hệ thống hội tụ nên các giá thành hệ pin Mặt Trời hội tụ khá cao. Tuy nhiên với sự tiến bộ nhanh chóng của khoa học công nghệ người ta dự báo rằng vào khoảng năm 2020 giá thành năng lượng giá điện pin Mặt Trời nói chung và pin Mặt Trời hội tụ nói riêng sẽ giảm xuống một cách căn bản và khi đó năng lượng Mặt Trời có thể thay thế hiệu quả các nguồn năng lượng hoá thạch như dầu, khí và than. Hiệu suất pin Mặt Trời khi đó sẽ phổ biến nằm trong khoảng 17 – 22% và giá điện Mặt Trời sẽ vào khoảng 0,06 USD/kWh.

4.6- ỨNG DỤNG PIN MẶT TRỜI

Như đã nói ở phần trên, pin Mặt Trời là một thiết bị có khả năng biến đổi trực tiếp năng lượng ánh sáng Mặt Trời thành điện năng, vì vậy pin Mặt Trời được ứng dụng để sản xuất điện cho nhiều mục đích sử dụng khác nhau từ những nhu cầu điện năng cỡ mW (như cho các máy tính cầm tay, đồng hồ đeo tay, radio mini,...) đến các trạm phát điện phục vụ công nghiệp và sinh hoạt cỡ hàng chục MW. Dưới đây chúng ta chỉ giới thiệu một số ứng dụng pin Mặt Trời cho mục đích phát điện sinh hoạt và công nghiệp.

4.6.1- Hệ nguồn điện Mặt Trời độc lập

Hệ nguồn điện Mặt Trời độc lập là hệ nguồn không nối với mạng lưới điện quốc gia hay địa phương. Hệ nguồn này thường được ứng dụng ở các khu vực không có lưới điện. Ngoài dàn pin Mặt Trời, trong một hệ nguồn điện Mặt Trời còn có các thành phần khác như trong sơ đồ hình 4.39.



Hình 4.39- Sơ đồ khối tổng quát của một hệ nguồn điện Mặt Trời.

Dàn pin Mặt Trời (PMT) bao gồm một hay nhiều modun PMT ghép lại với nhau. Tuỳ ều cầu về công suất, điện thế và dòng điện mà các modun được ghép nối nối tiếp, song song ay hỗn hợp. Hàng ngày khi có ánh sáng Mặt Trời chiếu vào dàn PMT thì dàn pin sẽ phát ra ·lòng điện một chiều. Công suất phát của dàn pin tỷ lệ thuận với cường độ bức xạ Mặt Trời.

Bộ ăcquy cũng có thể gồm một hay một số bình ăcquy được nối nối tiếp, song song hay hỗn hợp. Nhiệm vụ của nó là tích trữ điện năng để cung cấp cho các thiết bị tiêu thụ điện- hay còn gọi là các tải- trong thời gian không có ánh sáng Mặt Trời (ban đêm, những hôm trời mưa,...). Dung lượng của ăcquy (đo bằng ampe-giờ (Ah) hay oát-giờ (Wh)) phải được tính toán phù hợp với công suất dàn PMT.

Bộ điều khiển (BĐK) là một thiết bị điện tử có nhiệm vụ tự động điều hoà các quá trình dàn PMT nạp điện cho bộ ăcquy và quá trình bộ ăcquy cấp điện cho các tải. Cụ thể là khi ăcquy đã no, dung lượng đạt 100%, thì BĐK tự động cắt hay giảm dòng điện nạp từ dàn PMT, để tránh cho ăcquy khỏi bị sôi làm hỏng ăcquy. Sau đó khidung lượng ăcquy giảm đến giá trị chọn trước nào đó, BĐK lại tự động đóng mạch nạp điện cho ăcquy. Ngược lại, vì lý do nào đó như thời tiết xấu, ít hay không có nắng dài ngày, ăcquy có thể bị dùng kiệt dẫn đến hư hỏng ăcquy. Vì vậy khi thấy dung lượng bộ ăcquy giảm đến "giới hạn dưới nguy hiểm" (thông thường khi dung lượng ăcquy chỉ còn lại 30 – 40%) thì BĐK tự động cắt mạch tải, không cho các tải tiếp tục sử dụng điện. Khi dung lượng ăcquy đã đạt cao hơn giới hạn dưới nói trên thì BĐK lại tự động đóng mạch tải. Như vậy BĐK tự động bảo vệ ăcquy khỏi các trạng thái "quá no" hoặc "quá đói".

Tải một chiều là các thiết bị tiêu thụ điện một chiều. Nó được nối vào trực tiếp ngay sau BĐK. Tất nhiên công suất và hiệu điện thế của BĐK phải tương thích với công suất và hiệu điện thế của các tải một chiều.

Tải xoay chiều là các thiết bị tiêu thụ điện xoay chiều (ví dụ sử dụng điện 220V, 50Hz).

Vì điện từ dàn PMT hay bộ ăcquy là điện một chiều, nên để có điện xoay chiều cho các Tải xoay chiều người ta phải sử dụng các bộ *Đổi điện*. Bộ đổi điện là một thiết bị điện tử biến đổi điện một chiều thành điện xoay chiều.

4.6.2- Hiệu suất của hệ nguồn điện Mặt Trời độc lập

Mỗi thành phần của hệ nguồn điện Mặt Trời trong sơ đồ hình 4.39 đều gây ra tổn hao điện năng hay có một hiệu suất nào đó. Nếu η_1 là hiệu suất của BĐK, η_2 là hiệu suất của bộ đổi điện; η_3 là hiệu suất nạp/ phóng điện của bộ ácquy, η_4 là hiệu suất do tổn hao trên các dây nối, v.v... thì hiệu suất chung của cả hệ nguồn η sẽ là:

$$\eta = \eta_1 . \eta_2 . \eta_3 . \eta_4 ... = \Pi \eta_i , i = 1, 2, 3....$$ (4.29)

4.6.3- Xác định các đặc trưng điện cho các thành phần trong hệ nguồn điện Mặt Trời độc lập

a- Xác định nhu cầu điện của các tải

Để tính toán đặc trưng điện của các thành phần trong hệ nguồn chúng ta phải xuất phát từ xác định điện năng mà các tải cần tiêu thụ hàng ngày. Giả sử ta cần xây dựng hệ nguồn cho các tải tiêu thụ được cho trong bảng 4.4.

Khi đó, tổng điện năng hệ nguồn phải cấp cho các tải hàng ngày sẽ là:

$$E = P_1 N_1\tau_1 + P_2 N_2\tau_2 + P_3 N_3\tau_3 + P_4 N_4\tau_4 + ... = \Sigma P_i N_i\tau_i ,$$

$$i = 1, 2, 3,....$$ (4.30)

Bảng 4.4

TT	Tải điện	Công suất (W)	Số lượng (cái)	Thời gian sử dụng (h/ngày)	Tổng nhu cầu điện (Wh/ngày)
1	T_1	P_1	N_1	τ_1	$P_1 N_1\tau_1$
2	T_2	P_2	N_2	τ_2	$P_2 N_2\tau_2$
3	T_3	P_3	N_3	τ_3	$P_3 N_3\tau_3$
4	T_4	p_4	N_4	τ_4	$P_4 N_4\tau_4$

b- Công suất dàn PMT

Công suất P của dàn PMT thường được tính bằng Wp hay kWp và tính được từ công thức sau:

$$P(Wp) = \frac{E \times 1000 W \cdot / m^2}{I_{Tt} \times \eta}$$ (4.31)

trong đó I_{Tt} là cường độ tổng xạ bức xạ Mặt Trời trung bình ở địa phương lắp đặt hệ nguồn tính ra Wh/m^2.ngày ; $I_o = 1000\ W/m^2$ là cường độ năng lượng Mặt Trời chuẩn.

c- Dung lượng bộ ăcquy tính ra ampe giờ (Ah)

Dung lượng bộ ăcquy tính ra Ah được xác định theo công thức (4.32), trong đó N là số ngày dữ trữ không có nắng, V là hiệu điện thế bộ ăcquy, D là độ sâu phóng điện của ăcquy và η_b là hiệu suất phóng nạp của ăcquy. Thông thường N được chọn từ 3 đến 7 ngày, D = (0,6 – 0,7).

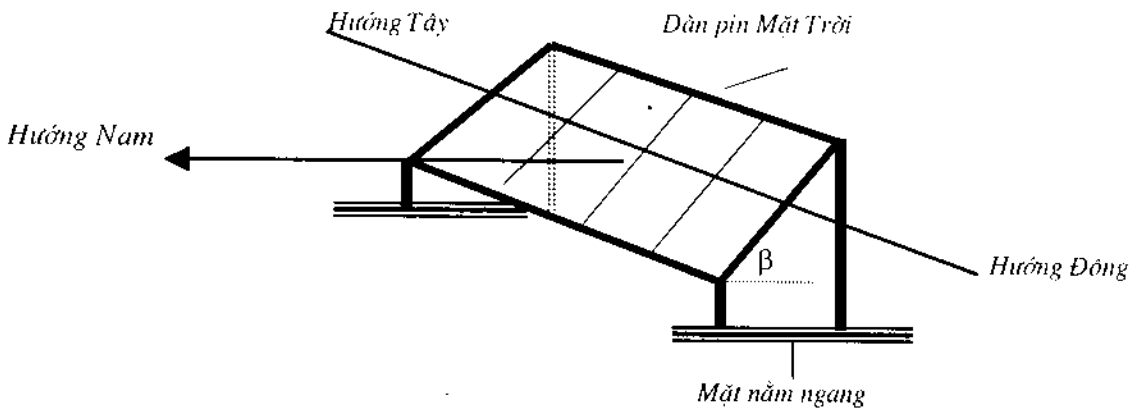
$$C = \frac{E \times N}{V \times \eta_b \times D}, Ah \qquad (4.32)$$

Sơ đồ nối các ácquy cũng như dàn PMT tuỳ thuộc vào yêu cầu về công suất và hiệu điện thế của các tải. Số lượng các ăcquy và PMT dùng trong bộ ăcquy và dàn PMT còn phụ thuộc vào loại ăcquy hay modun PMT được chọn.

4.6.4- Định hướng dàn PMT

Như đã trình bày trong Chương 1, hàng ngày Mặt Trời "chuyển động" trên bầu trời theo những quy luật xác định. Mặt Trời "mọc" ở hướng Đông, chuyển động trên bầu trời từ Đông sang Tây và "lặn" ở hướng Tây. Trong thời gian "mùa Hè" (từ 21/3 đến 21/9) Mặt Trời ở Bắc Bán Cầu, nên các địa phương ở Bắc Bán Cầu có nhiều nắng hơn. Còn trong thời gian "mùa Đông" (từ 21/9 đến 21/3 năm sau) Mặt Trời ở Nam Bán Cầu, các địa phương ở Bắc Bán Cầu nhận được ít nắng hơn. Và vì điện năng do một dàn PMT phát ra phụ thuộc vào cường độ năng lượng Mặt Trời, nên sự định hướng dàn PMT có ý nghĩa rất quan trọng.

Vì Mặt Trời luôn chuyển động trên bầu trời, nên về lý thuyết mà nói thì hiệu suất phát điện của dàn pin sẽ cao nhất nếu mặt dàn pin luôn luôn dõi theo Mặt Trời sao cho các tia trực xạ luôn vuông góc với mặt dàn PMT. Tuy nhiên khi đó phải có thêm bộ dõi theo Mặt Trời (Sun Tracker) và vì thế lại cần phải tiêu tốn thêm năng lượng và chi phí cho thiết bị đó. Ngoài ra, đối với các dàn PMT lớn, công suất hàng trăm kW, thì bộ dõi theo Mặt Trời phải rất cồng kềnh, phức tạp và đắt tiền. Chính vì vậy mà trong đa số các ứng dụng PMT người ta thường lắp dàn PMT cố định. Đối với các địa phương ở Bắc Bán Cầu thì dàn pin được lắp định hướng như sau (hình 4.40):



Hình 4.40- Định hướng dàn pin Mặt Trời.

- Mặt dàn pin hướng Nam và nghiêng một góc so với mặt nằm ngang là $\beta = \varphi + 10^0$, trong đó φ là vĩ độ của vĩ tuyến nơi lắp đặt dàn pin ;

- Trục ngang của dàn pin là trục Đông – Tây.

Việc lắp dàn pin nghiêng một góc β so với mặt nằm ngang làm tăng thêm phần năng lượng Mặt Trời tới dàn pin trong các tháng mùa Đông và sử dụng hiệu ứng tự rửa mặt dàn pin mỗi khi có mưa.

4.7- HỆ THỐNG ĐIỆN MẶT TRỜI NỐI LƯỚI

Trong các mục 4.7.1 đến 4.7.3 chúng ta đã giới thiệu nguồn điện Mặt Trời độc lập. Công nghệ nguồn loại này thường được ứng dụng cho các khu vực không có lưới điện công nghiệp hoặc cho các tải tiêu thụ đặc biệt, công suất nhỏ. Nhược điểm của công nghệ nguồn độc lập là phải dùng bộ ăcquy, vừa đắt tiền, phải chăm sóc thường xuyên và vừa gây ra ô nhiễm môi trường. Mặt khác các bộ ăcquy cũng chỉ tích được một lượng điện năng có hạn, còn với các dàn pin Mặt Trời hàng chục hay hàng trăm kW thì sử dụng ácquy tích điện là một vấn đề khó khăn rất lớn, thậm chí là không thể.

Đối với các các ứng dụng qui mô lớn, như ở các nước phát triển hiện nay, người ta sử dụng công nghệ *điện Mặt Trời nối lưới*. Trong công nghệ này, điện từ máy phát là dàn pin được biến đổi thành dòng xoay chiều có hiệu điện thế và tần số phù hợp nhờ các bộ biến đổi điện (Inverter) và được hoà vào mạng lưới điện công nghiệp. Khi sử dụng điện người ta lại lấy điện từ lưới. Mạng lưới điện có vai trò như một "ngân hàng", tích trữ điện năng lúc dàn pin Mặt Trời phát điện và cung cấp trở lại người tiêu dùng khi cần thiết. Nhờ ngân hàng điện này mà việc sử dụng luôn ổn định và rất tiết kiệm.

Ví dụ, ở các nước như Nhật Bản, Đức, Mỹ,...trên mái nhà mỗi gia đình người ta lắp một dàn pin Mặt Trời có công suất 3,5 – 4,0 kWp. Ban ngày dàn pin hấp thu năng lượng Mặt Trời và phát điện. Và nhờ bộ biến đổi điện và hệ thống dây dẫn điện của dàn pin được tải lên lưới (qua một côngtơ để chỉ số điện năng phát lên lưới). Khi dùng điện người ta lại lấy điện từ lưới qua một côngtơ thứ hai. Hàng tháng người ta lấy số chỉ của các côngtơ và sẽ biết chủ hộ được nhận tiền điện (nếu số chỉ của công-tơ sử dụng ít hơn số chỉ của côngtơ phát lên lưới) hay phải trả thêm tiền điện (nếu ngược lại) từ các công ty điện.

Chương 5

KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ THUỶ KHÍ ĐỘNG LỰC HỌC ỨNG DỤNG

5.1- MỘT SỐ ĐỊNH NGHĨA VÀ ĐẶC TRƯNG ĐỘNG HỌC

Thuỷ khí động lực học là môn học nghiên cứu các quy luật cân bằng và chuyển động của chất lỏng. Chất lỏng hiểu theo nghĩa rộng bao gồm chất lỏng ở thể nước- chất lỏng không nén được (khối lượng riêng ρ không thay đổi) và chất lỏng ở thể khí- chất lỏng nén được (khối lượng riêng ρ thay đổi, $\rho \neq const$). Để tiện cho việc nghiên cứu người ta giả thiết tồn tại chất lỏng lý tưởng - chất lỏng không có độ nhớt. Còn chất lỏng thực là chất lỏng có độ nhớt khác không ($\mu \neq 0$). Chất lỏng tuân theo quy luật về lực nhớt của Niutơn gọi là chất lỏng Niu Tơn. Còn những chất lỏng không tuân theo quy luật này gọi là chất lỏng phi Niutơn như dầu thô chẳng hạn.

Thuỷ khí động lực học được chia thành ba phần:

- Tĩnh học chất lỏng: Nghiên cứu các điều kiện cân bằng của chất lỏng ở trạng thái tĩnh.

- Động học chất lỏng: Nghiên cứu chuyển động của chất lỏng theo thời gian không kể đến nguyên nhân gây ra chuyển động.

- Động lực học chất lỏng: Nghiên cứu chuyển động của chất lỏng và tác dụng tương hỗ của nó với vật rắn.

5.1.1 - Một số định nghĩa và tính chất cơ lý của chất lỏng

5.1.1.1. Chất lỏng có một số tính chất dễ nhận biết sau đây

Tính liên tục: vật chất được phân bố liên tục trong không gian. Tính dễ di động biểu thị ở chỗ: ứng suất tiếp (nội ma sát) trong chất lỏng chỉ khác không khi có chuyển động tương đối giữa các lớp chất lỏng. Tính nén được: thể tích V_l của chất lỏng thay đổi khi áp suất tác dụng p thay đổi. Ta có hệ số nén được:

$$\beta = -\frac{1}{V_l}\frac{dV_l}{dp} \qquad (m^2/N). \tag{5.1}$$

Tính nhớt: đó là tính cản trở chuyển động của chất lỏng được đặc trưng bằng lực ma sát trong còn gọi là lực nhớt. Theo định luật của Niutơn về lực nhớt ta có:

$$T = \mu S\frac{dU}{dy}. \tag{5.2}$$

Biểu diễn dưới dạng ứng suất tiếp:

$$\tau = \frac{T}{S} = \mu\frac{dU}{dy}. \tag{5.3}$$

trong đó:

T - lực nhớt;

μ - hệ số chỉ phụ thuộc vào loại chất lỏng;

S - diện tích bề mặt tiếp xúc với chất lỏng chuyển động;

dU/dy - gradient vận tốc theo phương y vuông góc với dòng chảy.

Từ đó rút ra :

$$\mu = \frac{T}{S\frac{dU}{dy}}. \tag{5.4}$$

Đơn vị của μ trong hệ SI là Ns/m^2; trong hệ CGS là poazơ (P); $1P = 10^{-1}\ Ns/m^2$.

Ngoài hệ số μ còn dùng hệ số nhớt động học $\nu = \mu/\rho$ trong các biểu thức có liên quan đến chuyển động. Đơn vị đo của ν trong hệ SI là m^2/s, trong hệ CGS là: stốc(St), $1St = 10^{-4}\ m^2/s$.

5.1.1.2. Khối lượng riêng và trọng lượng riêng

Khối lượng (M) của chất lỏng được đặc trưng bởi khối lượng của một đơn vị thể tích (V_l) gọi là khối lượng riêng (ρ) hoặc khối lượng đơn vị:

$$\rho = \frac{M}{V_l}, \ (kg/m^3). \tag{5.5}$$

Tương tự có trọng lượng riêng (γ):

$$\gamma = \frac{G}{V_l}, \ (N/m^3); \text{ hay } (kG/m^3). \qquad (5.6)$$

Với G là trọng lượng của khối chất lỏng thể tích V_l.

Trọng lượng riêng của một vật có khối lượng 1kg có thể coi bằng 9,81N ≈ 10N:

$$1kG \approx 10N = 1daN.$$

Ta có mối liên hệ: $\gamma = \rho g$;

Với g là gia tốc rơi tự do, $g = 9,81 \ m/s^2$.

5.1.1.3. Ngoại lực tác dụng lên chất lỏng

Ngoại lực tác dụng lên chất lỏng được chia thành hai loại:

- Lực mặt là lực tác dụng lên chất lỏng tỷ lệ với diện tích mặt tiếp xúc (như áp lực...).

- Lực khối là lực tác dụng lên chất lỏng tỷ lệ với khối lượng (như trọng lực, lực quán tính...).

5.1.2 - Phân loại chuyển động

Chuyển động của chất lỏng được phân loại thành:

- Chuyển động dừng: các yếu tố chuyển động (như vận tốc) không biến đổi theo thời gian

$$\frac{\partial U}{\partial t} = 0 \text{ trong đó } U = U(x, y, z) \qquad (5.7)$$

- Chuyển động không dừng: các yếu tố chuyển động biến đổi theo thời gian:

$$\frac{\partial U}{\partial t} \neq 0 \quad \text{trong đó } U = U(x, y, z, t) \qquad (5.8)$$

Dòng chất lỏng chảy theo một tuyến nhất định gọi là dòng chảy.

- Dòng chảy đều là dòng chảy theo trục chuyển động x với phân bố vận tốc dọc theo dòng chảy không đổi:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = const \qquad (5.9)$$

- Dòng chảy không đều thì:

$$\frac{\partial U}{\partial x} \neq const \qquad (5.10)$$

- Dòng chảy có áp là dòng chảy không có mặt thoáng, còn dòng chảy không áp là dòng có mặt thoáng.

Các yếu tố thủy lực:

- Mặt cắt ướt là mặt cắt vuông góc với vectơ vận tốc của dòng chảy ký hiệu: Ω.

- Chu vi ướt là đoạn tiếp xúc giữa chất lỏng và thành giới hạn dòng chảy ký hiệu χ.

Bán kính thủy lực: $R = \frac{\Omega}{\chi}$.

5.1.3 - Đường dòng và dòng nguyên tố

Đường dòng là đường cong trên đó vectơ vận tốc của các điểm trùng với tiếp tuyến tại các điểm của đường cong.

Phương trình đường dòng:

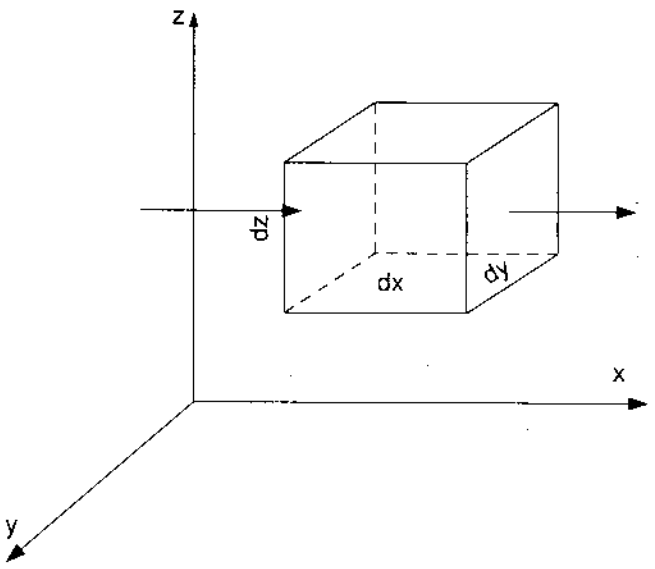
$\overline{U} // \overline{dr} \rightarrow \overline{U} \wedge \overline{dr} = 0$, (5.11)

Suy ra:

$$\frac{dx}{U} = \frac{dy}{V} = \frac{dz}{W}.$$

Trong đó: $\overline{U}$ là vectơ vận tốc, $\overline{dr}$ là phân tố vectơ của đường dòng.

Trong không gian các đường dòng không cắt nhau, trong chuyển động dừng đường dòng và quỹ đạo trùng nhau.



Hình 5.1- Phân tố hình hộp chất lỏng trong môi trường chuyển động.

Các đường dòng tựa trên một vòng khép kín vô cùng nhỏ tạo được ống dòng. Chất lỏng chảy qua trong ống dòng gọi là dòng nguyên tố. Chất lỏng không chuyển động xuyên qua ống dòng.

5.2 - PHƯƠNG TRÌNH LIÊN TỤC

Đây là một dạng của định luật bảo toàn khối lượng. Khối lượng M của hệ cô lập không thay đổi trong suốt quá trình chuyển động:

$$\frac{dM}{dt} = 0.$$

5.2.1 - Dạng tổng quát

Trong môi trường chất lỏng chuyển động ta tách một phân tố hình hộp (dx, dy, dz) có thể tích: $\Delta V_1 = dxdydz$ (hình 5.1).

Theo định luật bảo toàn khối lượng:

$$\frac{d(\rho \Delta V_1)}{dt} = 0, \tag{5.12}$$

trong đó:

$\rho = \rho(x,y,z,t)$ - Khối lượng riêng chất lỏng

Lấy đạo hàm:

$$\frac{1}{\rho}\frac{d\rho}{dt} + \frac{1}{\Delta V_1}\frac{d\Delta V_1}{dt} = 0, \tag{5.13}$$

$\frac{d\Delta V_1}{dt}$ là vận tốc biến dạng tương đối của thể tích phân tố chất lỏng.

Ta xét trường hợp chất lỏng không chịu nén: $\frac{d\rho}{dt} = 0$, ta có:

$$\frac{1}{\Delta V_1}\frac{d\Delta V_1}{dt} = 0 \tag{5.14}$$

$\Delta V_1 \neq 0$, nên $\frac{dV_1}{dt} = 0$ nghĩa là phân tử thể tích không thay đổi theo thời gian đối với chất lỏng không chịu nén ρ = const.

5.2.2 - Đối với dòng nguyên tố

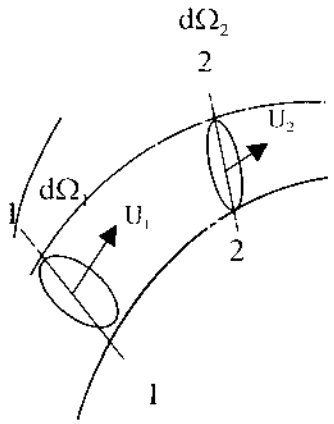
Khảo sát khối chất lỏng chuyển động trong dòng nguyên tố giữa hai mặt cắt 1-1 và 2-2. (hình 5.2). Giả thiết chuyển động dừng, chất lỏng không nén được. Lượng chất lỏng đi vào tiết

diện 1-1: $\rho_1 U_1 d\omega_1$, đi ra tiết diện 2-2: $\rho_2 U_2 d\omega_2$. Theo định luật bảo toàn khối lượng:

$$\rho_1 U_1 d\Omega_1 = \rho_2 U_2 d\Omega_2 = \rho U d\Omega = const.$$

Do chất lỏng không chịu nén $\rho = const$, suy ra

$$U_1 d\Omega_1 = U_2 d\Omega_2 = dQ = const. \quad (5.15)$$



Hình 5.2- Sơ đồ dòng chất lỏng nguyên tố.

5.2.3 - Đối với toàn dòng

$$V_1 \Omega_1 = V_2 \Omega_2 = Const, \quad (5.16)$$

Hay là:

$$Q_1 = Q_2 = Q = const$$

5.3 - PHƯƠNG TRÌNH BERNOULLI ĐỐI VỚI DÒNG CHẢY - ĐỊNH LUẬT BẢO TOÀN NĂNG LƯỢNG

5.3.1- Phương trình Bernoulli đối với dòng chất lỏng lý tưởng

5.3.1.1. Phương trình vi phân chuyển động của chất lỏng lý tưởng

Phương trình vi phân chuyển động của chất lỏng lý tưởng được viết dưới dạng:

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho} gradp = \frac{d\vec{U}}{dt}. \quad (5.17)$$

trong đó:

$\vec{F}$ - lực khối tác dụng lên khối chất lỏng ;

p - áp suất thuỷ động tác dụng lên khối chất lỏng tại mỗi điểm ;

$\frac{d\vec{U}}{dt}$ - biến thiên vận tốc của khối chất lỏng chuyển động theo thời gian.

Phương trình này còn được gọi là phương trình Ơle động. Tích phân phương trình này có các dạng khác nhau.

Xét trong chuyển động dừng: $\frac{\partial}{\partial t} = 0$ và khi lực khối chỉ là trọng lực,

$Z = -\frac{\partial U}{\partial z} = -g$, ta có tích phân Bernoulli:

$$gz + \int \frac{dp}{\rho} + \frac{U^2}{2} = const = C \qquad (5.18)$$

5.3.1.2. Đối với dòng nguyên tố, tích phân (4.18) có dạng

$$gz + \frac{p}{\rho} + \frac{U^2}{2} = Const = C, \qquad (5.19)$$

Hay là đối với hai mặt cắt dòng nguyên tố:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g}. \qquad (5.20)$$

Ý nghĩa của phương trình Bernoulli (5.20) được biểu diễn hình học trên hình 5.3.

z là độ cao hình học,

$\frac{p}{\gamma}$ là độ cao đo áp,

$\frac{U^2}{2g}$ là độ cao động học,

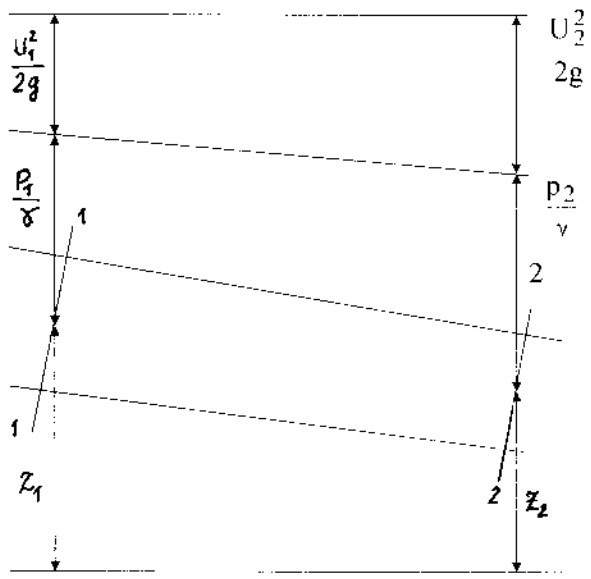
Ý nghĩa năng lượng.

z là vị năng đơn vị ,

$\frac{p}{\gamma}$ là áp năng đơn vị,

$z + \frac{p}{\gamma}$ là thế năng đơn vị ,

$\frac{U^2}{2g}$ là động năng đơn vị,



Hình 5.3- Minh hoạ các thông số trong phương trình (5.20).

$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{U^2}{2g} = const$ - tổng năng lượng đơn vị .

5.3.1.3. Phương trình Bernoulli cho toàn dòng

Để tính năng lượng của toàn dòng chảy ở mặt cắt 1-1 và 2-2, ta tích phân phương trình

(5.20) theo lưu lượng dQ:

$$\int_{\Omega_1}\left(z_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{U_1^2}{2g}\right)dQ=\int_{\Omega_2}\left(z_2+\frac{p_2}{\gamma}+\frac{U_2^2}{2g}\right)dQ, \tag{5.21}$$

hay

$$\int_{\Omega_1}\left(z_1+\frac{p_1}{\gamma}\right)dQ+\int_{\Omega_1}\frac{U_1^2}{2g}dQ=\int_{\Omega_2}\left(z_2+\frac{p_2}{\gamma}\right)dQ+\int_{\Omega_2}\frac{U_2^2}{2g}dQ.$$

Do $z+\frac{p}{\gamma}=\text{const}$ ở các tiết diện 1-1 và 2-2, nên tích phân

$$\int_{\Omega}\left(z+\frac{p}{\gamma}\right)dQ=\left(z+\frac{p}{\gamma}\right)Q, \tag{5.22}$$

và tích phân

$$\int_{\Omega}\frac{U^2}{2g}dQ=\frac{\alpha V^2}{2g}. \tag{5.23}$$

Trong đó: V - vận tốc trung bình $V=\frac{Q}{\Omega}$,

α - hệ số điều chỉnh động năng:

$$\alpha=\frac{\int_{\Omega}U^2dQ}{V^2Q} \tag{5.24}$$

α = 2: đối với dòng chảy tầng; α = 1: đối với dòng chảy rối.

Vậy phương trình Bernoulli cho toàn dòng có dạng:

$$z_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{\alpha_1V_1^2}{2g}=z_2+\frac{p_2}{\gamma}+\frac{\alpha_2V_2^2}{2g} \tag{5.25}$$

5.3.2 - Phương trình Bernoulli cho toàn dòng đối với dòng chất lỏng thực

Dòng chất lỏng thực có tính nhớt, khi chuyển động từ tiết diện 1-1 đến tiết diện 2-2 sinh ra tổn thất cột áp do ma sát dọc đường và tổn thất cục bộ. Ta ký hiệu h_{12} là tổn thất cột áp giữa hai tiết diện. Phương trình Bernoulli cho toàn dòng đối với dòng chất lỏng thực có dạng:

$$z_1+\frac{p_1}{\gamma}+\frac{\alpha_1V_1^2}{2g}=z_2+\frac{p_2}{\gamma}+\frac{\alpha_2V_2^2}{2g}+h_{12} \tag{5.26}$$

Tổn thất h_{12} gồm có tổn thất dọc đường (tổn thất ma sát) h_λ và tổn thất cục bộ h_ξ (do thay đổi hướng dòng, thay đổi tiết diện - mở rộng hay thu hẹp) và được xác định theo công thức sau:

$$h_{12} = h_{12\lambda} + h_{12\xi}. \tag{5.27}$$

trong đó:

$$h_{12\lambda} = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}.$$

λ - hệ số ma sát của ống dẫn;

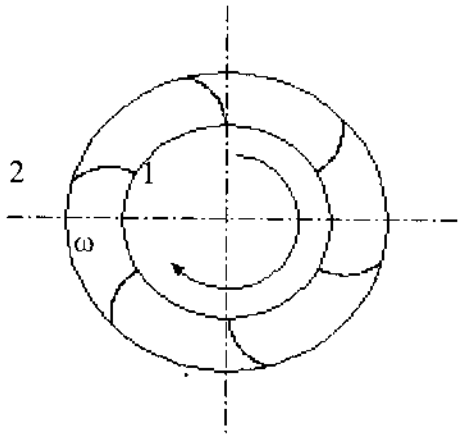
l - chiều dài ống dẫn ;

d - đường kính ống dẫn.

$$h_{12\xi} = \xi_i \frac{V^2}{2g}.$$

ξ_i là hệ số tổn thất cục bộ.

5.4 - PHƯƠNG TRÌNH BERNOULLI ÁP DỤNG CHO MÁY CÁNH DẪN



Hình 5.4- Sơ đồ kết cấu bánh công tác máy cánh dẫn.

Ta xét dòng chảy trong máng dẫn của bánh công tác máy cánh dẫn (bơm, quạt, tuabin nước - hình 5.4). Bánh công tác quay với vận tốc góc ω, có gia tốc góc $\partial\omega/\partial t$.

Dòng ở đây là dòng không dừng có cột áp quán tính. Nghĩa là phương trình Bernoulli có dạng:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{W^2}{2g} + \frac{1}{g}\int \frac{\partial\omega}{\partial t} dl = const, \tag{5.28}$$

ký hiệu: $h_{qt} = \frac{1}{g}\int\frac{\partial\omega}{\partial t}dl$ - cột áp quán tính.

Trong bánh công tác tích phân theo bán kính từ R_1 đến R_2 ta có

$$h_{qt} = \frac{\omega^2}{2g}\left(R_2^2 - R_1^2\right) \tag{5.29}$$

Phương trình Bernoulli cho dòng tương đối trong máy cánh:

$$z_1 + \frac{p}{\gamma} + \frac{W_1^2 - U_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{W_2^2 - U_2^2}{2g}. \tag{5.30}$$

trong đó, W là vận tốc tương đối trong máng dẫn; U là vận tốc tiếp tuyến, được xác định bằng: $U = \omega R$; R_1, R_2 tương ứng bán kính vào và ra của bánh công tác.

5.5. CÁC ĐỊNH LUẬT VÀ KHÁI NIỆM CƠ BẢN CỦA KHÍ ĐỘNG LỰC HỌC

Khí động lực học nghiên cứu chuyển động của không khí và tác dụng tương hỗ giữa không khí và vật thể chuyển động. Ứng dụng đối với động cơ gió (hay tuabin gió), khí động lực học nghiên cứu tác dụng tương hỗ của dòng không khí có vận tốc và hướng xác định với bánh công tác và các bộ phận không chuyển động khác của động cơ gió.

Thông thường dòng không khí, thậm chí trong một tiết diện tương đối nhỏ không chuyển động thì vận tốc của nó ở những tiết diện khác nhau đều khác nhau, còn các cơn gió xê dịch đối với nhau theo pha.

5.5.1. Các định luật và khái niệm cơ bản của khí động lực học

Khí động lực học dựa trên một số các định luật cơ bản. Tương ứng định luật thứ nhất - định luật nghịch đảo chuyển động, nghiên cứu vật thể không chuyển động được chảy bao bởi môi trường chuyển động, hoặc ngược lại, chuuyển động của vật trong môi trường không chuyển động, khi đó kết quả nghiên cứu sẽ như nhau.

Định luật thứ hai - định luật bảo toàn khối lượng, được biểu thị bằng phương trình liên tục, cho phép xác định vận tốc của chất lỏng ở các tiết diện khác nhau của không gian kín.

Khi nghiên cứu chuyển động của không khí và các chất khí với vận tốc nhỏ, có thể áp dụng các quy luật của thuỷ động lực học.

Khảo sát một dòng nguyên tố chất lỏng AB (xem hình 5.5) trong điều kiện chuyển động ổn định, ta thừa nhận rằng, trong thời gian Δt có một lượng chất lỏng M_1 chảy qua tiết diện A-A và một lượng M_2 qua tiết diện B-B.

Vì là chuyển động dừng và chất lỏng không chảy qua thành bên do vận tốc ở mọi chỗ đ hướng theo tiếp tuyến với thành nên

$$M_1 = M_2 = M = \text{const}, \tag{5.31}$$

Hay

$$\rho_1 F_1 V_1 = \rho_2 F_2 V_2 = \rho F V = \text{const}.$$

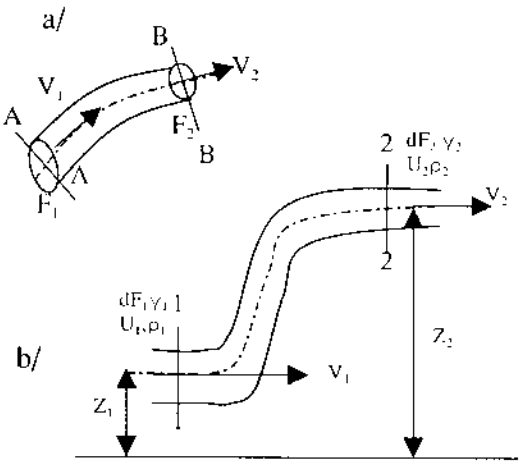
Đối với chất lỏng không nén được $\rho_1 = \rho_2 = \rho$, nên

$$F_1 V_1 = F_2 V_2 = FV = \text{const}. \tag{5.32}$$

Phương trình Bernoulli là sự phản ánh định luật thứ ba - định luật bảo toàn năng lượng, ứng dụng đối với dòng tia chất lỏng trong chuyển động dừng.

Khảo sát các thành phần năng lượng trong 1 giây của dòng tia chảy qua tiết diện 1-1 và ra khỏi tiết diện 2-2 (h. 5.5,b). Thế năng chất lỏng bằng tích $dF_1V_1\rho_1 g$ nhân với chiều cao cao trình z_1.

Năng lượng gây nên bởi áp suất các hạt chất lỏng bằng tích áp suất p_1 với diện tích tiết diện dòng tia dF_1 và vận tốc dòng chất lỏng V_1, tức là bằng $p_1 dF_1 V_1$.



Hình 5.5- Mô hình dòng chảy
a. dòng liên tục; b. dòng tia.

Động năng của dòng chất lỏng bằng:

$$\frac{MV_1^2}{2} = \frac{\rho_1}{2} dF_1 V_1^3 \tag{5.33}$$

Sau cùng, nội năng nhiệt của 1 kg chất lỏng chảy qua tiết diện 1-1 sẽ bằng U_N/A, trong đó U_N - nội năng nhiệt, A = 43,53 kcal/Nm - đương lượng công của nhiệt.

Năng lượng toàn phần trong các tiết diện 1-1 và 2-2 là hằng số. Biểu thị sự cân bằng năng lượng đơn vị qua cân bằng cột áp, tính tới tổn thất cột áp h_w giữa các tiết diện 1-1 và 2-2 ta nhận được:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho_1 g} + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{U_{N1}}{A} = z_2 + \frac{p_2}{\rho_2 g} + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{U_{N2}}{A} + \sum h_w. \tag{5.34}$$

trong đó: $p/\rho g$ - cột áp tĩnh ;

$V^2/2g$ - cột áp động ;

Σh_W - tổng tổn thất cột áp dọc đường đi giữa các tiết diện lựa chọn.

Đối với chất lỏng không chịu nén $\rho_1 = \rho_2 = \rho$, $U_{N1} = U_{N2} = U_N$, khi đó:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_W. \qquad (5.35)$$

Ta nhận được phương trình có dạng như phương trình (5.25) viết cho dòng chất lỏng thực.

5.5.2. Hiện tượng xâm thực của chất lỏng

Hiện tượng xâm thực thể hiện ở sự gián đoạn trong môi trường chuyển động, gây nên bởi sự giảm áp tới áp suất thấp hơn áp suất hơi bão hoà và xảy ra trong trường hợp khi thế năng chuyển thành động năng với vận tốc tối đa. Đối với không khí vận tốc khi xảy ra xâm thực có giá trị bằng:

$$V_{xt} = V_{max} = \sqrt{2\frac{k}{(k-1)}\frac{p_0}{\rho_0}}. \qquad (5.36)$$

Với k = 1,41 - chỉ số đoạn nhiệt.

Đối với nước vận tốc giới hạn trong ống khi xâm thực:

$$V_{xt} = \sqrt{2g\left(z_1 + \frac{p_0}{\gamma}\right)}. \qquad (5.37)$$

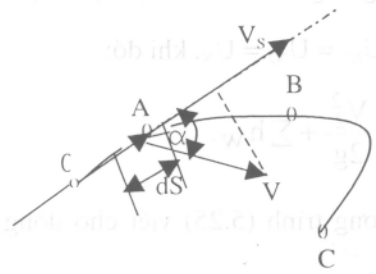
5.5.3. Dòng chảy và lưu số vận tốc

Trên sơ đồ dòng chảy chất lỏng lý tưởng (hình 5.6) vẽ đường cong OABC. Tại điểm A bất kỳ dòng chảy có vận tốc V. Ký hiệu đoạn OA là S và coi S có giá trị dương theo hướng mũi tên. Tách phân tố dS và chiếu vận tốc V lên phương tiếp tuyến với đường cong tại A. Tích hình chiếu V_S và dS gọi là lưu số vận tốc $d\Gamma$ dọc theo phân tố.

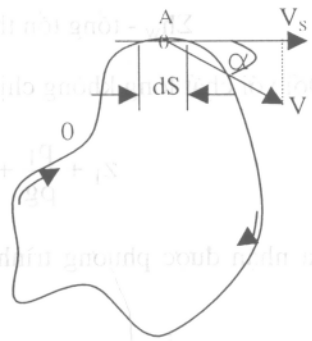
Tổng các lưu số vận tốc phân tố theo OABC bằng:

$$\Gamma_{OC} = \int_{OC} V_S dS, \quad m^2/s. \qquad (5.38)$$

Với chu tuyến kín (hình 5.7) có lưu số vận tốc bằng:



Hình 5.6- Dòng chảy vận tốc theo chu tuyến.



Hình 5.7- Lưu số vận tốc theo chu tuyến

$$\Gamma = \oint V_S dS = \oint V \cos\alpha dS. \qquad (5.39)$$

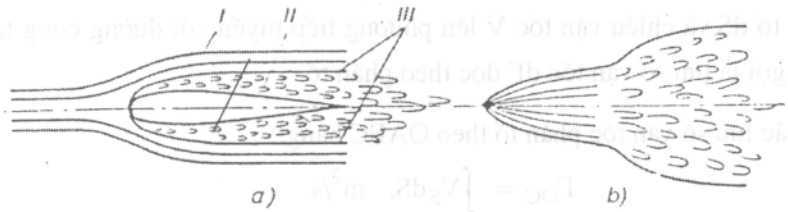
5.5.4. Thế vận tốc

Hàm không gian f(x,y,z) mà đạo hàm riêng của nó theo hướng bất kỳ cho ta hình chiếu vận tốc V trên hướng đó gọi là thế vận tốc.

$$V_S = df/dS. \qquad (5.40)$$

Dòng chảy có thế vận tốc gọi là dòng thế. Dòng có thế vận tốc đơn trị thì có giá trị vận tốc bằng không theo chu tuyến kín.

Khác với chất lỏng lý tưởng, chất lỏng thực có độ nhớt gây nên bởi các lực ma sát trong. Trên chính bề mặt vật thể vận tốc bằng không, nhưng cách một đoạn không xa vận tốc đã gần bằng với vận tốc Vn của dòng thế. Đó là một lớp mỏng trong đó V tăng từ 0 đến $0,99V_n$, còn chất lỏng thì chuyển động xoáy. Lớp mỏng này gọi là lớp biên.



Hình 5.8- Chảy bao vật thể bởi dòng chảy và dòng hỗn hợp.

Nếu dV/dy gọi là gradien vận tốc theo pháp tuyến với bề mặt, thì lực tiếp tuyến gọi là lực nhớt:

$$dX = \mu \frac{dV}{dy} dS. \qquad (5.41)$$

trong đó: μ - hệ số nhớt động lực tính bằng Ns/m^2;

dS - diện tích bề mặt, m^2.

Chia μ cho khối lượng riêng ρ ta nhận được hệ số nhớt động học:

$$\nu = \mu/\rho, \ m^2/s. \qquad (5.42)$$

Đối với điều kiện thường (T =15°C, p_o = 760mmHg), $\mu_o = 1,9.10^{-5}$ Ns/m^2 thì $\nu_o = 1,45.10^{-5}$ m^2/s.

Khi dòng khí chảy bao vật thể, các lớp không khí ở ngay sát bề mặt vật thể bị chậm lại và chuyển động xoáy. Điều này có thể dễ dàng chứng minh, vì rằng các xoáy vận tốc theo chu tuyến không bằng không. Trên sơ đồ dòng chảy có thể xem như gồm ba vùng (hình 5.8,a):

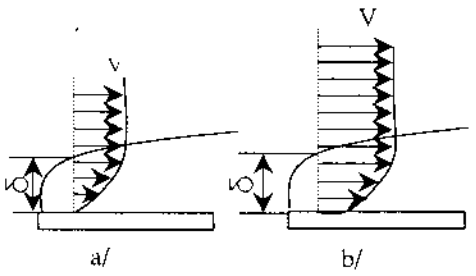
I. Vùng chảy thế, ở đó sự khác nhau về vận tốc của các lớp hầu như bằng không;

II. Vùng vết xoáy, trong đó xuất hiện sự khác nhau về vận tốc và lực nhớt có ảnh hưởng rõ rệt tới chuyển động;

III. Vùng lớp biên, ở đó do sự khác nhau lớn về vận tốc ở những điểm kề nhau, lực nhớt đóng vai trò chính và một phần là lực quán tính. Ranh giới rõ rệt giữa các vùng này không có.

Với vận tốc tương đối nhỏ, không khí hoặc chất lỏng trong lớp biên chuyển động dưới dạng các dòng riêng biệt. Lớp như vậy gọi là chảy tầng. Ở đây sự xoáy dòng gây nên chỉ do chuyển động xoáy của các hạt chất lỏng xung quanh trục vuông góc với mặt phẳng dòng, nhưng các hạt không chuyển từ lớp này sang lớp khác.

Sự tăng vận tốc dẫn tới chuyển động xoáy hỗn loạn của lớp dòng - nó chuyển sang chuyển động rối. Lớp dòng có thể hỗn hợp, tức là có thể có cả phần rối và tầng (hình 5.8,b). Trong những điều kiện như nhau động năng dòng rối lớn hơn so với dòng tầng.



Hình 5.9- Phân bố vận tốc trong lớp biên : a. lớp biên chảy tầng; b. lớp biên chảy rối; δ – chiều dày lớp biên.

Trong dòng chảy tầng vận tốc thay đổi theo quy luật đường cong parapol bậc 2 (hình 5.9), trong dòng rối - gradien vận tốc lớn hơn.

Hệ số lực cản của vật thể cũng tăng do lực ma sát tăng.

5.6. CÁC ĐỊNH LUẬT VÀ CÁC TIÊU CHUẨN TƯƠNG TỰ

Nếu các hiện tượng khí động lực học mà các đại lượng vật lý cùng loại của chúng tại một điểm bất kỳ trong không gian có tỷ lệ giống nhau thì chúng được gọi là tương tự. Sự tương tự hình học của mô hình với mẫu thực thể hiện ở sự tỷ lệ các kích thước dài của chúng l_M và l_N và các góc tương ứng bằng nhau. Tương ứng tỷ lệ kích thước k_l sử dụng tỷ lệ lực k_V, tỷ lệ thời gian k_t v.v... Đối với các hiện tượng tương tự tỷ lệ các đại lượng cùng tên ở những điểm như nhau cần phải giống nhau. Nếu một phần các tỷ lệ đó không đáp ứng yêu cầu này thì các hiện tượng đó được gọi là tương tự từng phần.

Các đặc tính khí động lực học của vật thể được xác định bởi hàng loạt các hệ số khí động lực học phụ thuộc vào các thông số kích thước và góc của nó, đồng thời phụ thuộc vào hàng loạt các số trừu tượng gọi là các tiêu chuẩn tương tự.

Các tiêu chuẩn tương tự tính tới một trong các yếu tố xác định chế độ chảy bao. Bởi vậy khi mô hình hoá các hiện tượng tương tự cũng cần phải đảm bảo các tiêu chuẩn này bằng nhau.

Trong kỹ thuật gió sử dụng chủ yếu số Reynolds (Re) đánh giá độ nhớt của chất lỏng và trong các trường hợp riêng biệt khi nghiên cứu các bánh công tác quay nhanh cũng sử dụng cả số Mak (Ma) phản ánh ảnh hưởng tính đàn hồi của chất lỏng.

$$Re = \frac{Vl}{\nu}, \tag{5.43}$$

$$Ma = \frac{V}{a}, \tag{5.44}$$

trong đó: V - vận tốc dòng chảy ứng với vật thể - m/s ;

l - kích thước dài của vật thể ;

ν - hệ số nhớt động học ;

a - vận tốc âm.

Nếu đối với vật thể mô hình và mẫu thực các giá trị ν như nhau, thì để đảm bảo sự tương tự cần phải đảm bảo quan hệ

$$V_M l_M = V_n l_n. \tag{5.45}$$

trong đó : V_M , l_M là vận tốc và kích thước dài vật mô hình ;

V_n , l_n là vận tốc và kích thước dài vật mẫu thực.

Tích V*l* gọi là đặc tính thực nghiệm và đôi khi dùng nó thay số Reynolds Re.

Như vậy, khi thí nghiệm động cơ gió và mô hình của nó trong ống khí động cần phải sao cho chúng tương tự hình học, có số Reynolds Re giống nhau và hướng giống nhau trong không gian so với dòng chảy.

Thực nghiệm cho thấy rằng, trong chảy bao vật thể dòng chảy tầng chỉ tồn tại tới các số Reynolds (Re) xác định, còn sau đó chúng chuyển sang rối. Số Reynolds Re, mà ở đó xảy ra sự chuyển đổi này được gọi là số Reynolds giới hạn Re_{gh}.

Đối với bản phẳng: $$Re_{gh} = \frac{V_o l_{gh}}{\nu} = 4{,}85.10^5. \quad (5.46)$$

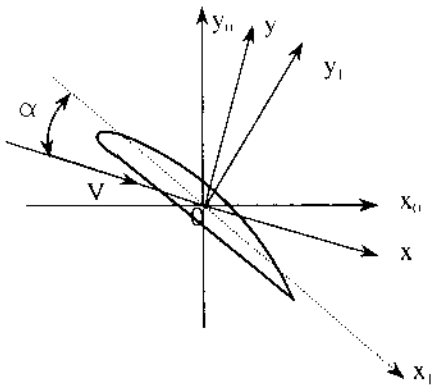
Vì vậy, $$l_{gh} = 4{,}85.10^5 \frac{\nu}{V_o}. \quad (5.47)$$

Đối với không khí trong điều kiện bình thường

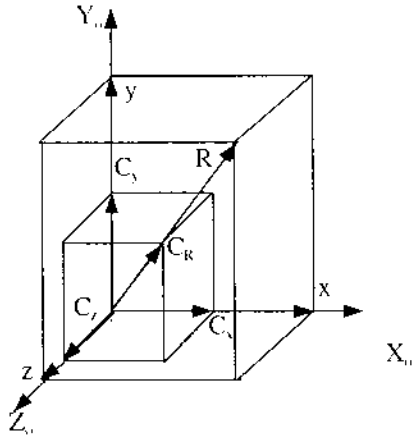
$$l_{gh} = 4.85.10^5 \frac{1{,}45.10^{-5}}{V_o} = \frac{7{,}05}{V_o}. \quad (5.48)$$

Số Re_{gh} phụ thuộc vào độ rối ban đầu của dòng chảy. Độ rối ban đầu càng tăng thì Re_{gh} càng giảm.

5.7. CÁC HỆ SỐ KHÍ ĐỘNG LỰC HỌC, SỨC CẢN VÀ LỰC NÂNG CỦA CÁNH



Hình 5.10- Hệ toạ độ gắn với trái đất (trục *Z* vuông góc với mặt phẳng bản vẽ).



Hình 5.11- Phân tích lực theo các trục toạ độ.

Các hệ số khí động lực học là các hệ số được rút ra từ nghiên cứu thực nghiệm mô hình.

Sử dụng các số này cho phép từ các lực và mômen tương ứng tác dụng lên mô hình tính các lực và mômen tác dụng lên vật thực.

Khi xác định các hệ số khí động lực học thường sử dụng hệ toạ độ gắn với Trái Đất (hình 5.11), trong đó trục oy_0 hướng thẳng đứng lên trên, ox_0 và oz_0 nằm trong mặt phẳng nằm ngang và vuông góc với nhau. Ký hiệu vận tốc dòng chảy bằng véctơ và hướng dây cung của cánh bằng đường thẳng đứt nét. Ta gọi góc α giữa chúng là góc va thực, góc này sẽ thay đổi khi quay cánh ứng với trục oz_0.

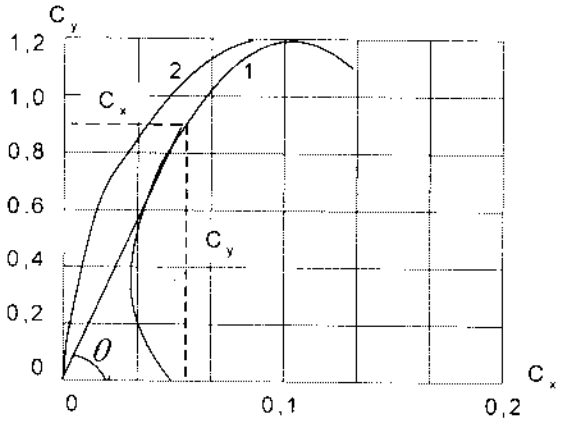
Thông thường lực khí động toàn phần R tác động lên vật thể chảy bao được phân ra các lực thành phần theo các trục toạ độ (hình 5.11). Đưa vào các hệ số: C_y - hệ số lực nâng, C_x - lực cản bề mặt, C_z - lực cản bên, C_R - lực khí động toàn phần, chúng ta nhận được các biểu thức xác định các thành phần lực như sau:

Lực cản bề mặt:

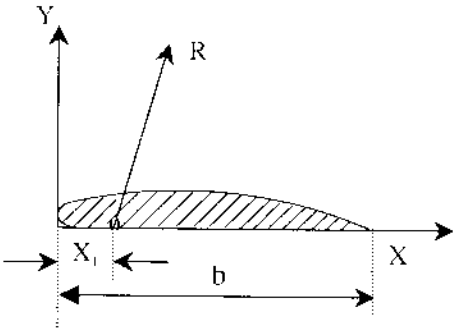
$$X = C_X Sq = C_X S\frac{\rho V^2}{2}, \quad N, \tag{5.49}$$

Lực nâng:

$$Y = C_Y Sq = C_Y S\frac{\rho V^2}{2}, \quad N, \tag{5.50}$$



Hình 5.12- Trường lực (1) và đường cong parabol sức cản cảm ứng (2).



Hình 5.13- Tâm áp suất.

Lực bên:

$$Z = C_Z Sq = C_Z S \frac{\rho V^2}{2}, \quad N, \tag{5.51}$$

Lực toàn phần:

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}, \quad N, \tag{5.52}$$

trong đó: S - diện tích cánh, m^2;

$q = \rho V^2/2$ - áp suất động, N/m^2.

Khi đó hệ số lực nâng khí động toàn phần bằng:

$$C_R = \sqrt{C_Y^2 + C_X^2 + C_Z^2}. \tag{5.53}$$

Tương tự khi phân tích mô men ta nhận được mômen nghiêng

$$M_X = C_{mX} Sql = C_{mX} Sl \frac{\rho V^2}{2}, \ Nm, \tag{5.54}$$

mômen đảo lái M_y và mômen chồng chềnh M_z.

Ký hiệu chiều dài quy ước của vật thể là L và hệ số mô men khí động toàn phần là C_m, ta có biểu thức tính mômen:

$$M = C_m SL \frac{\rho V^2}{2}, \tag{5.55}$$

Hệ số khí động lực nhận được khi thổi mô hình trong ống khí động

Trên cơ sở biểu thức (5.49) hệ số C_x sẽ bằng:

$$C_X = \frac{X_M}{S_M \frac{\rho_M V_M^2}{2}}. \tag{5.56}$$

Khi xác định C_y và C_z, ở tử số ta thay bằng các lực tương ứng Y_M và Z_M. Chỉ số "M" có nghĩa là các đại lượng tương ứng với mô hình.

Để tìm lực tác dụng lên vật thể trong chảy bao bởi dòng chất lỏng ta sử dụng phương trình:

$$P_X = C_X F \frac{\rho V^2}{2}, \qquad (5.57)$$

trong đó, F - diện tích lớn nhất của tiết diện ngang vật thể vuông góc với phương dòng chảy (được gọi là tiết diện ngang giữa).

Khi góc α thay đổi các hệ số C_X, C_Y, C_Z cũng thay đổi. Các đường cong đặc trưng cho các đặc tính khí động của cánh gọi là đặc tính khí động và các đường cong thể hiện quan hệ $C_y = f(C_x)$ ứng với các góc α khác nhau gọi là trường lực (hình 5.12, đường cong 2).

Đường thẳng kẻ từ gốc toạ độ O tới điểm M bất kỳ của trường lực (với tỷ lệ C_y và C_x nhất định) cho ta giá trị C_R, véctơ của nó tạo với trục hoành một góc θ. Tang của góc này

$$tg\theta = C_y/C_x = k, \qquad (5.58)$$

được gọi là chất lượng của cánh.

Tỷ số ngược $\qquad C_x/C_y = 1/k = \mu, \qquad (5.59)$

gọi là chất lượng ngược. Ở các cánh chất lượng tốt k = 22 - 25.

Lực khí động toàn phần cắt trục ox gắn với cánh tại tâm áp suất (hình 5.13). Vị trí tâm áp suất trên cánh được xác định thông qua hệ số tâm áp suất C_d, nó thường được cho theo % của dây cung b:

$$C_d = \frac{x_I}{b} \cdot 100\%. \qquad (5.60)$$

Với các góc va nhỏ ($\alpha \leq 20^o$) có thể coi

$$C_d = C_m/C_y. \qquad (5.61)$$

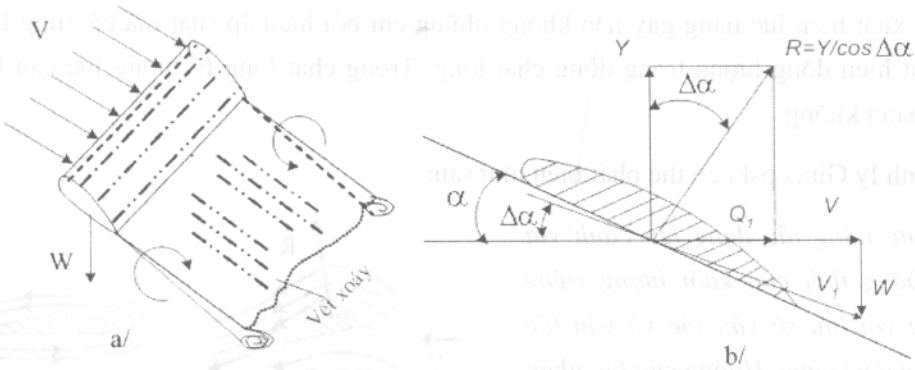
Tỷ số chiều dài cánh L_k với dây cung (chiều rộng cánh) b gọi là sải cánh tương đối λ hay độ dài tương đối của cánh

$$\lambda = L_k/b. \qquad (5.62)$$

Đối với cánh có sải rất dài tức là với $\lambda = \infty$, sức cản gây nên bởi ma sát của không khí với bề mặt cánh và sự gián đoạn dòng chảy, tức là sức cản prôphin, phụ thuộc vào hình dạng prôphin cánh và chất lượng bề mặt của nó.

Ngoài sức cản prôphin khi chảy bao cánh có sải cánh hữu hạn sinh ra lực cản phụ, gây nên bởi các chuỗi xoáy thoát ra từ cánh. Vì vậy khi $\lambda \neq \infty$ có thể xem cánh như một hệ các xoáy gọi là xoáy liên hợp, chúng bị cuốn theo dòng chảy và tạo thành sau cánh vết xoáy (hình 5.14,a).

Các chuỗi xoáy tạo ra vận tốc thẳng đứng W gọi là vận tốc nghiêng, tác dụng lên dòng chảy và làm lệch dòng chảy để cho góc α giảm đi một góc nghiêng Δα (hình 5.14,b).



Hình 5.14- Các xoáy thoát ra từ cánh và lực cản cảm ứng.

Vì sự thay đổi đồng thời hướng của lực nâng nên xuất hiện một lực cản phụ Q_i gọi là lực cản cảm ứng. Trên cơ sở lý thuyết cảm ứng ta thiết lập được quan hệ:

$$W = \frac{C_Y}{\pi\lambda} V, \quad m/s \tag{5.63}$$

$$\Delta\alpha = \frac{C_Y}{\pi\lambda}, \quad \text{radian} \tag{5.64}$$

$$Q_i = \frac{C_Y^2}{\pi\lambda} S \frac{\rho V^2}{2} \quad N \tag{5.65}$$

Với $\frac{C_Y^2}{\pi\lambda} = C_i$ - hệ số cản cảm ứng.

Đường cong $C_i = f(C_X, \alpha)$ gọi là đường parabol sức cản cảm ứng (hình 5.12, đường cong 2). Các đường đặc tính khí động toàn phần của prôphin cánh sải cánh hữu hạn được cho trong các cẩm nang kỹ thuật hàng không tương ứng. Khi dòng không khí chảy bao cánh, phía trên cánh tạo thành vùng giảm áp, còn phía dưới - vùng tăng áp, do vậy làm xuất hiện lực nâng (hình 5.15,a). Theo định lý Bernoulli ta có vận tốc dòng khí phía trên cánh sẽ lớn hơn, còn phía dưới cánh vận tốc sẽ nhỏ hơn so với vận tốc dòng khí ở xa cánh. Do vậy sẽ tồn tại lưu số vận tốc bao quanh cánh và chuỗi xoáy.

N. E. Giucôpski đã giả thiết, khi tính toán thay cánh bằng một chùm xoáy gọi là xoáy liên hợp và đưa ra công thức tính lực nâng của cánh với sải cánh vô hạn

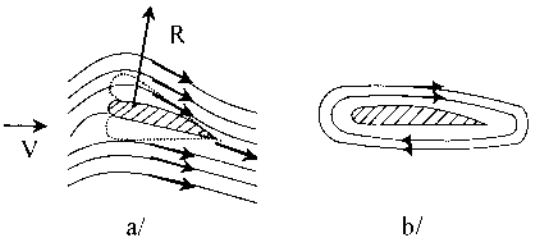
$$Y = \rho\Gamma V_o. \tag{5.66}$$

Trong đó, Y - lực vuông góc với vận tốc V_o của dòng không nhiễu tác dụng lên cánh chiều dài $\lambda = \infty$.

Sự xuất hiện lực nâng gây nên không những chỉ bởi hiệu áp suất mà cả xung lực, tức là bởi sự xuất hiện động lượng trong dòng chất lỏng. Trong chất lỏng lý tưởng lực cản bề mặt X của cánh bằng không.

Định lý Giucôpski có thể phát biểu như sau:

Lực nâng tác dụng lên cánh với $\lambda = \infty$ bằng tích của khối lượng riêng chất lỏng với lưu số vận tốc và vận tốc dòng chảy ở vô cùng. Hướng của lực nhận được bằng cách quay véc tơ vận tốc một góc 90° về phía ngược với hướng của lưu số vận tốc.



Hình 5.15- (a) lực nâng cánh và (b) lưu số vận tốc bao quanh prôphin.

Khi $\lambda \neq \infty$ phần chất lỏng chảy bao cánh ở giữa các xoáy sẽ có một gia số động lượng có giá trị $\rho\Gamma L_k V_0$ và hướng theo phương thẳng đứng.

Đối với các tính toán thực tế sử dụng phương trình quan hệ giữa giá trị lý thuyết của lưu số và hệ số thực nghiệm C_y:

$$\Gamma = \frac{C_Y}{2} b V_0. \qquad (5.67)$$

Từ các vấn đề đã khảo sát ở trên rõ ràng là, cánh có sải cánh khác nhau sẽ có trường prôphin (trường lực) khác nhau. Các đặc tính prôphin nhận được trong ống khí động được cho đối với $\lambda = \infty$. Khi sử dụng chúng để thiết kế động cơ gió bằng phương pháp đồ thị cần tính chuyển đổi trường prôphin đối với cánh có sải cánh hữu hạn.

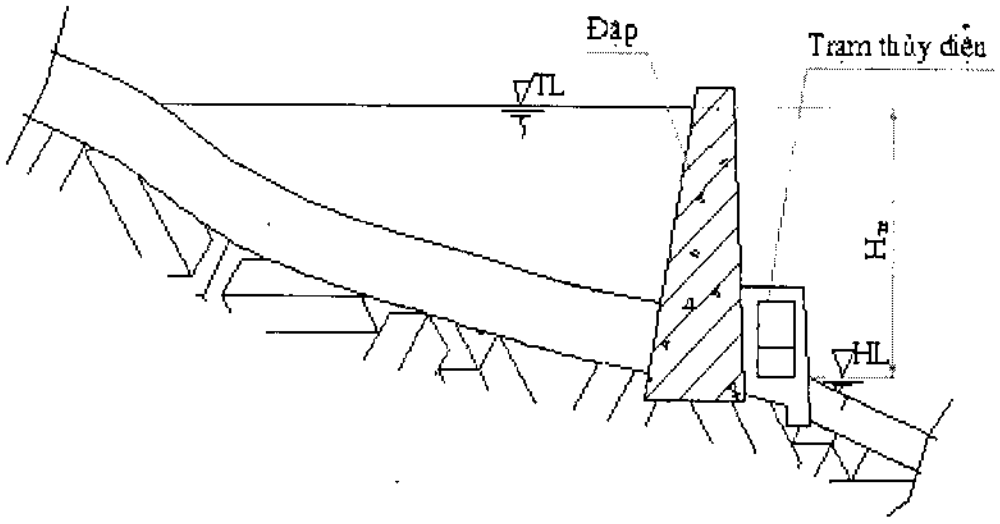
Chương 6

THỦY ĐIỆN NHỎ VÀ ỨNG DỤNG

6.1- PHƯƠNG PHÁP TẬP TRUNG NĂNG LƯỢNG VÀ CÁC DẠNG TRẠM THUỶ ĐIỆN

Các con sông, suối chảy từ nguồn xuống biển đều mang theo một tiềm năng về năng lượng (gọi là thuỷ năng). Thông thường nguồn thuỷ năng phụ thuộc vào độ dốc sông suối và lưu lượng nước chảy qua. Nguồn thuỷ năng có thể phân bố đều hoặc không đều trên một đoạn sông suối. Để tập trung năng lượng của dòng chảy, nghĩa là để tạo được độ chênh mực nước giữa thượng lưu (TL) và hạ lưu (HL) người ta sử dụng ba phương pháp ứng với ba kiểu trạm thuỷ điện sẽ được giới thiệu trong các phần dưới đây.

6.1.1 Phương pháp tập trung năng lượng bằng đập ngăn (hình 6.1)



Hình 6.1- Sơ đồ sử dụng đập ngăn tạo độ chênh mực nước.

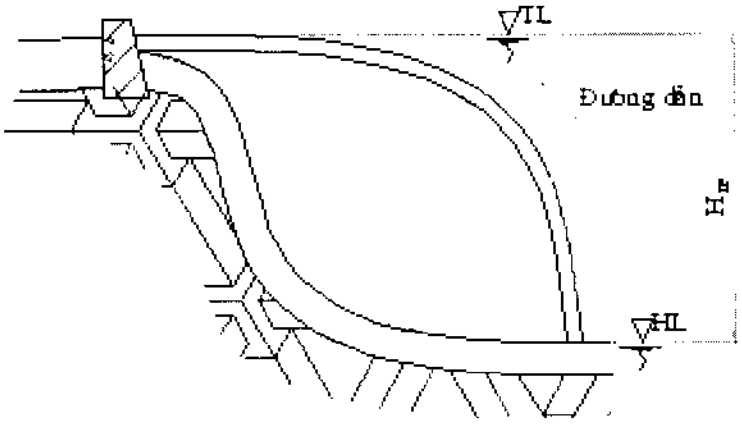
Phương pháp này là đắp đập tạo nên độ chênh mực nước giữa thượng lưu (∇TL) và hạ lưu (∇HL). Đập có nhiều loại: đập đất, đập đá và đập bêtông. Còn trạm thuỷ điện có thể bố trí sau đập hay trong lòng đập. Trạm thuỷ điện này gọi là trạm thuỷ điện sau đập hay trạm thuỷ

điện trong lòng đập. Vì độ cao đập hạn chế nên phương pháp này được sử dụng chỉ cho các đoạn sông suối có độ dốc nhỏ. Cột nước toàn phần của trạm thủy điện được xác định bằng hiệu mực nước thượng lưu và hạ lưu:

$$H_{tp} = \nabla TL - \nabla HL$$

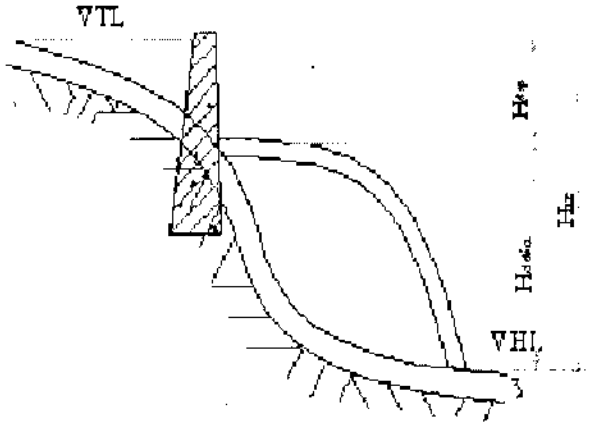
6.1.2 Phương pháp tập trung năng lượng bằng đường dẫn (hình 6.2)

Phương pháp này sử dụng đường dẫn để tạo độ chênh mực nước giữa thượng lưu ∇TL và hạ lưu ∇HL. Trạm thuỷ điện này gọi là trạm thuỷ điện đường dẫn . Đường dẫn có thể bằng đường ống hoặc kênh dẫn. Trạm thuỷ điện dạng này thích hợp với các con sông, suối có độ dốc lớn hay có bậc thác.



Hình 6.2- Sơ đồ sử dụng đường dẫn tạo độ chênh mực nước .

6.1.3- Phương pháp tổng hợp tập trung năng lượng dòng chảy (hình 6.3)



Hình 6.3- Sơ đồ sử dụng phương pháp tổng hợp tạo độ chênh mực nước.

Phương pháp này tạo độ chênh mực nước bằng đập ngăn và bằng đường dẫn đối với đoạn sông có độ dốc khác nhau. Độ chênh mực nước của trạm bằng tổng độ chênh mực nước đập tạo nên và độ chênh của đường dẫn.

Trạm thuỷ điện dạng này gọi là trạm thuỷ điện tổng hợp. Cột áp toàn phần được xác định bằng tổng cột áp do đập và đường dẫn tạo nên:

$$H_{TH} = \nabla TL - \nabla HL = H_{đập} + H_{đ.dẫn}$$

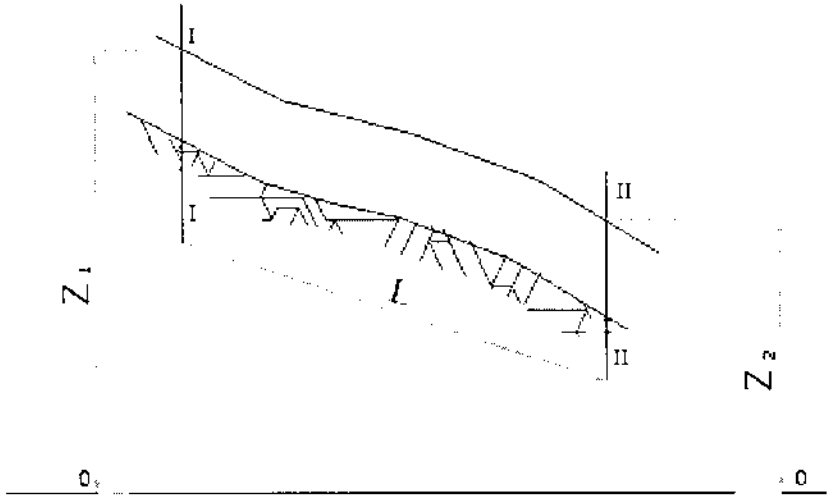
6.2. CÁC KHÁI NIỆM VÀ CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA TUABIN NƯỚC

6.2.1. Tuabin nước

Tuabin nước (còn gọi là tuabin thuỷ lực) là một thiết bị động lực, biến đổi năng lượng của dòng chảy (thuỷ năng) thành cơ năng kéo máy công tác hoặc máy phát điện.

Ta xét một đoạn sông có chiều dài L giữa hai tiết diện I-I và II-II.

Theo định luật bảo toàn năng lượng (thể hiện bằng phương trình Bernoulli) ta có năng lượng dòng chảy của đoạn sông tại các tiết diện I-I và II-II là:



Hình 6.4- Sơ đồ xác định năng lượng dòng sông.

$$E_I = Z_I + \frac{P_I}{\gamma} + \frac{V_I^2}{2g} \qquad (6.1,a)$$

$$E_{II} = Z_{II} + \frac{P_{II}}{\gamma} + \frac{V_{II}^2}{2g} \qquad (6.1,b)$$

trong đó:

Z_I và Z_{II} là chiều cao mực nước tại tiết diện I-I và II-II so với đường chuẩn 0-0 (đơn vị: m cột nước);

g là gia tốc trọng trường (m/s^2);

P_I và P_{II} là áp suất dòng chảy tại tiết diện I-I và II-II (đơn vị đo - N/m^2, còn $[P/\gamma]$ = m cột nước);

γ là trọng lượng riêng chất lỏng ($\gamma = 9810N/m^3 = 1000kG/m^3$);

V_I và V_{II} là vận tốc dòng chảy tại tiết diện I-I và II-II ([V] = m/s còn $[V^2/2g]$ = m cột nước).

Hiệu năng lượng riêng của dòng chảy tại hai mặt cắt là năng lượng đơn vị của dòng chảy trên đoạn sông có chiều dài L và được gọi là cột áp dòng sông:

$$H_{ds} = E_I - E_{II} = Z_I - Z_{II} + \frac{P_I - P_{II}}{\gamma} + \frac{V_I^2 - V_{II}^2}{2g}. \qquad (6.2)$$

Năng lượng dòng chảy của đoạn sông là:

$$E = \int_t \gamma QHdt$$

hay

$$E = \gamma HW \qquad (6.3)$$

trong đó W là thể tích nước chảy qua đoạn sông trong thời gian t.

Công suất của dòng chảy trên đoạn sông sẽ là:

$$N_{ds} = \gamma QH_{ds}. \qquad (6.4)$$

6.2.2. Các thông số của tuabin

6.2.2.1. Cột áp của tuabin

Cột áp của tuabin (ký hiệu là H) được xác định bằng hiệu năng lượng riêng của dòng chảy ở cửa vào tuabin (tiết diện 1 -1) và ở cửa ra tuabin (tiết diện 2 -2) (xem hình 6.5), đơn vị là mét cột nước.

$$H = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}\right) - \left(Z_2 + \frac{P_2^2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}\right). \qquad (6.5)$$

Cột áp tuabin có thể xác định theo mực nước thượng lưu và hạ lưu của trạm thuỷ điện

bằng quan hệ sau:

$$H = H_{Tp}.\eta_{dd} = (\nabla TL - \nabla HL).\eta_{dd} \quad (6.6)$$

trong đó:

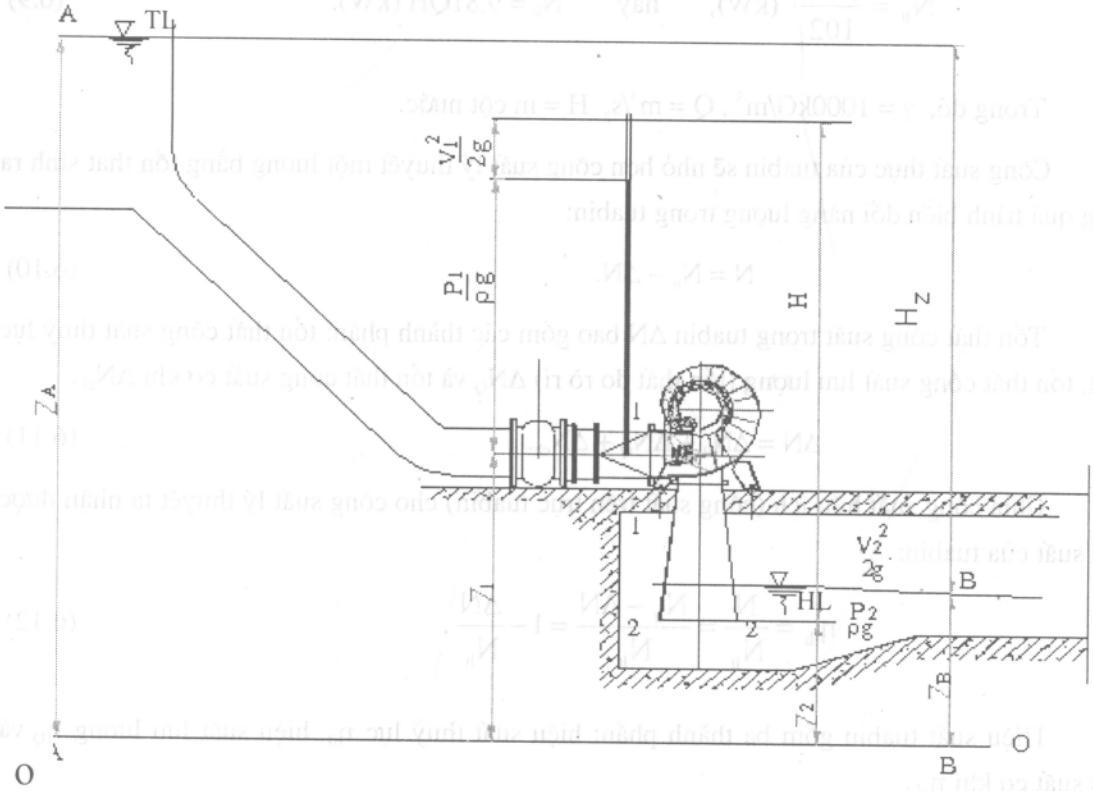
H_{Tp} - cột áp toàn phần của trạm thuỷ điện ;

η_{dd} - hiệu suất đường dẫn.

Hiệu suất đường dẫn η_{dd} được xác định bằng quan hệ:

$$\eta_{dd} = \frac{H_{TP} - h_{dd}}{H_{TP}} = 1 - \frac{h_{dd}}{H_{TP}}, \quad (6.7)$$

với h_{dd} là tổn thất của dòng chảy dọc theo đường dẫn.



Hình 6.5. Sơ đồ bố trí tuabin tại trạm thuỷ điện.

6.2.2.2. Lưu lượng của tuabin

Lưu lượng của tuabin (ký hiệu là Q) là lượng nước chảy qua tuabin trong một đơn vị thời

gian (đơn vị: m^3/s).

Lưu lượng có thể xác định thông qua vận tốc dòng chảy và diện tích tiết diện mặt cắt của dòng bằng công thức:

$$Q = V_1.A_1 = V_2.A_2. \quad (6.8)$$

trong đó: A_1 và A_2 là diện tích tiết diện 1-1 và 2-2, đơn vị -m^2.

6.2.2.3. Công suất của tuabin

Người ta phân biệt công suất của tuabin thành công suất lý thuyết và công suất thực tế. Công suất lý thuyết của tuabin được xác định thông qua cột áp và lưu lượng của tuabin bằng công thức:

$$N_{lt} = \frac{\gamma QH}{102} \text{ (kW)}, \quad \text{hay} \quad N_{lt} = 9{,}81QH \text{ (kW)}. \quad (6.9)$$

Trong đó, $\gamma = 1000kG/m^3$, $Q = m^3/s$, $H = m$ cột nước.

Công suất thực của tuabin sẽ nhỏ hơn công suất lý thuyết một lượng bằng tổn thất sinh ra trong quá trình biến đổi năng lượng trong tuabin:

$$N = N_{lt} - \Delta N. \quad (6.10)$$

Tổn thất công suất trong tuabin ΔN bao gồm các thành phần: tổn thất công suất thuỷ lực ΔN_{tl}, tổn thất công suất lưu lượng (tổn thất do rò rỉ) ΔN_Q và tổn thất công suất cơ khí ΔN_{ck}.

$$\Delta N = \Delta N_{tl} + \Delta N_Q + \Delta N_{ck}. \quad (6.11)$$

Chia công suất hữu ích (công suất trên trục tuabin) cho công suất lý thuyết ta nhận được hiệu suất của tuabin:

$$\eta_{tb} = \frac{N}{N_{lt}} = \frac{N_{lt} - \Delta N}{N_{lt}} = 1 - \frac{\Delta N}{N_{lt}}. \quad (6.12)$$

Hiệu suất tuabin gồm ba thành phần: hiệu suất thuỷ lực η_{tl}, hiệu suất lưu lượng η_Q và hiệu suất cơ khí η_{ck}.

$$\eta_{tb} = \eta_{tl}\eta_Q\eta_{ck}. \quad (6.13)$$

trong đó:

$$\eta_{ck} = \frac{N_{lt} - \Delta N_{ck}}{N_{lt}} = 1 - \frac{\Delta N_{ck}}{N_{lt}}, \quad (6.14,a)$$

$$\eta_Q = \frac{Q - \Delta Q}{Q} = 1 - \frac{\Delta Q}{Q}, \qquad (6.14,b)$$

$$\eta_H = \frac{H - \Delta H}{H} = 1 - \frac{\Delta H}{H}. \qquad (6.14,c)$$

với :

ΔQ - tổn thất lưu lượng do rò rỉ nước từ vùng áp suất cao tới vùng áp suất thấp và từ trong tuabin ra ngoài ;

ΔH - tổn thất cột áp do có các dạng tổn thất thuỷ lực sinh ra trong tuabin;

ΔN_{ck} - tổn thất cơ khí sinh ra do ma sát trong ổ trục ổ đệm và ma sát của chất lỏng tĩnh với bề mặt ngoài của đĩa cánh bánh công tác (đối với tuabin tâm trục).

Hiệu suất tổ máy bằng tích của hiệu suất tuabin với hiệu suất máy phát và hiệu suất truyền động:

$$\eta_{TM} = \eta_{tb}\eta_{mp}\eta_{td} \qquad (6.15)$$

Đối với các tổ máy thuỷ điện nhỏ và cực nhỏ ta có các giá trị hiệu suất nằm trong giới hạn sau:

Hiệu suất tuabin $\eta_{tb} = 0,7 \div 0,9$, tuỳ theo (cỡ) công suất tuabin.

Hiệu suất máy phát $\eta_{MP} = 0,8 \div 0,95$, phụ thuộc công suất của máy phát.

Hiệu suất bộ truyền giữa tuabin và máy phát $\eta_{TD} = 0,9 \div 0,95$, tuỳ thuộc vào dạng bộ truyền động và công suất truyền.

Như vậy công suất của tổ máy là:

$$N_{TM} = 9,81QH\eta_{TM}. \qquad (6.16)$$

Có thể lấy gần đúng $N_{TM} = KQH$ (kW), trong đó $K = 5 \div 8$. Giới hạn dưới tính cho tuabin cực nhỏ, giới hạn trên tính cho tuabin có công suất trên 100kW.

6.3. LUẬT TƯƠNG TỰ

6.3.1. Điều kiện tương tự

Trong thực tế người ta thường phải so sánh, tính chuyển đổi các thông số làm việc của một máy này so với một máy khác. Để có thể làm được điều đó, người ta phải dựa vào luật tương tự.

Hai máy (tuabin thuỷ lực) sẽ là tương tự với nhau khi chúng thoả mãn ba điều kiện sau:

6.3.1.1. Điều kiện tương tự hình học

Hai máy tương tự hình học với nhau khi hình dạng của phần dẫn dòng (phần tiếp xúc với dòng chảy) của chúng đồng dạng và có các kích thước hình học tỷ lệ với nhau theo một tỷ lệ nhất định và các góc tương ứng bằng nhau.

$$\frac{D_{1M}}{D_T} = \frac{b_M}{b_T} = \lambda_l = \text{const}; \qquad (6.17)$$

$$\beta_{1M} = \beta_{1T},\ \beta_{2M} = \beta_{2T} \ldots$$

trong đó, ký hiệu M tương ứng tuabin mô hình và T tương ứng tuabin thực.

6.3.1.2. Điều kiện tương tự động học

Hai máy tương tự động học với nhau khi chúng đồng dạng hình học với nhau và có phân bố vận tốc tại các điểm tương ứng trong phần dẫn dòng tương tự nhau (nghĩa là có các tam giác vận tốc đồng dạng).

$$\frac{V_{1M}}{V_{1T}} = \frac{W_M}{W_T} = \frac{C_M}{C_T} = \lambda_V = \text{const}; \qquad (6.18)$$

6.3.1.3. Điều kiện tương tự động lực học

Hai máy tương tự động lực với nhau khi chúng tương tự hình học và tương tự động học với nhau và có các lực tác dụng tại các điểm tương ứng trong phần dẫn dòng tỷ lệ với nhau.

$$\frac{P_{IM}}{P_{IT}} = \frac{F_M}{F_T} = \lambda = \text{const}; \qquad (6.19)$$

Trong lý thuyết tương tự người ta đã chứng minh rằng, khi hai máy tương tự hình học với nhau, để đảm bảo sự tương tự động lực cần phải đảm bảo các chuẩn số sau đây như nhau:

Chuẩn số Reynolds: $Re = \frac{VD_1}{\nu}$,

Chuẩn số Froude: $Fr = \frac{V^2}{gD_1}$,

Chuẩn số Strukhal: $Sh = \frac{VT}{D_1}$,

Chuẩn số Ơle: $$Eu = \frac{p - p_\infty}{\rho V^2/2}.$$

trong đó:

V và p là vận tốc và áp suất trong dòng chất lỏng;

ρ và ν - mật độ và độ nhớt của chất lỏng;

D_1 - đường kính bánh công tác ở cửa vào của tuabin;

g - gia tốc rơi tự do;

T - thời gian một chu kỳ (một vòng quay) của trục tuabin T = 1/n.

Trên thực tế mô hình hoá tuabin thường đảm bảo hai chuẩn số Sh và Eu như nhau, số Fr đôi khi bằng nhau còn số Re thì không bằng nhau. Sở dĩ số Re không thể như nhau do mô hình có kích thước khá nhỏ thường bằng 1/40 đến 1/10 so với máy thực, còn cột áp thường chỉ bằng 1/100 đến 1/10 cột áp thực. Do vậy số Re của máy thực thường lớn gấp 50 đến 100 lần so với mô hình. Song khi Re > 10^5 (trong vùng làm việc của tuabin thực và mô hình) thì sự khác nhau của số Re không ảnh hưởng đáng kể tới dạng chuyển động của dòng chất lỏng. Ảnh hưởng của số Re và độ nhám tương đối tới hiệu suất tuabin khi mô hình hoá sẽ được tính toán bổ sung bằng công thức kinh nghiệm.

6.3.2. Các quan hệ tương tự

Dựa vào các điều kiện tương tự của hai máy: mô hình và nguyên hình (máy thực), ta có thể thiết lập các quan hệ tương tự giữa các thông số làm việc của hai máy.

Trong tuabin thuỷ lực người ta thường thiết lập quan hệ tương tự của các thông số: vòng quay (n), lưu lượng (Q) và công suất (N), phụ thuộc theo đường kính (D_1) và cột áp (H) của tuabin.

Từ biểu thức tính vận tốc theo cột áp:

$$u = \omega\frac{D}{2} = \frac{\pi n D}{60} \approx \sqrt{2gH} \qquad (6.20)$$

ta xác định được các quan hệ tương tự sau:

$$\frac{n_M}{n_T} = \left(\frac{D_T}{D_M}\right)\cdot\left(\frac{H_M}{H_T}\right)^{1/2}\left(\frac{\eta_{tlM}}{\eta_{tlT}}\right)^{1/2}, \qquad (6.21)$$

$$\frac{Q_M}{Q_T} = \left(\frac{D_M}{D_T}\right)^2 \left(\frac{H_M}{H_T}\right)^{1/2} \left(\frac{\eta_{tlM}}{\eta_{tlT}}\right)^{1/2} \frac{\eta_{QT}}{\eta_{QM}}, \tag{6.22}$$

$$\frac{N_M}{N_T} = \frac{\rho_M}{\rho_T}\left(\frac{D_M}{D_T}\right)^2 \left(\frac{H_M}{H_T}\right)^{3/2} \left(\frac{\eta_{tlM}}{\eta_{tlT}}\right)^{3/2} \frac{\eta_{ckM}}{\eta_{ckT}}. \tag{6.23}$$

Trong thực tế tính toán thiết kế, chọn tuabin ở bước ban đầu thường tính gần đúng bỏ qua sự khác nhau giữa hiệu suất tuabin mô hình và tuabin thực. Lúc đó ta có các quan hệ:

$$\frac{n_M}{n_T} = \frac{D_T}{D_M}\left(\frac{H_M}{H_T}\right)^{1/2}, \tag{6.24}$$

$$\frac{Q_M}{Q_T} = \left(\frac{D_M}{D_T}\right)^2 \left(\frac{H_M}{H_T}\right)^{1/2}, \tag{6.25}$$

$$\frac{N_M}{N_T} = \left(\frac{D_M}{D_T}\right)^2 \left(\frac{H_M}{H_T}\right)^{3/2} \tag{6.26}$$

6.3.3. Các đại lượng quy dẫn của tuabin

Trong việc thiết kế, chọn tuabin, các thông số của tuabin như cột áp, lưu lượng, số vòng quay, ... không thể đặc trưng cho các tuabin cùng loại tương tự với nhau.

Để đặc trưng cho cùng một loại tuabin tương tự với nhau người ta dùng các đại lượng quy dẫn .

Các đại lượng quy dẫn của một tuabin nào đó là các đại lượng (ký hiệu n'_1, Q'_1, N'_1) của một tuabin tương tự với tuabin đó có đường kính bánh công tác $D_1 = 1m$, và cột áp $H = 1m$.

Dĩ nhiên hai tuabin nào đó tương tự thì các đại lượng quy dẫn phải bằng nhau.

Sử dụng các công thức (5.21 ÷ 5.23) thế $D_{1M} = 1m$, $H_M = 1m$, gọi n_M, Q_M, N_M là các thông số quy dẫn n'_1, Q'_1, N'_1 ta có:

$$n'_1 = \frac{nD_1}{\sqrt{H}}\left(\frac{\eta_{tlM}}{\eta_{tlT}}\right)^{1/2}; \qquad \text{(vg/ph)}, \tag{6.27}$$

$$Q'_1 = \frac{Q}{D_1^2\sqrt{H}}\left(\frac{\eta_{tlM}}{\eta_{tlT}}\right)^{1/2} \frac{\eta_{QT}}{\eta_{QM}}; \quad (m^3/s), \tag{6.28}$$

$$N_1' = \frac{N}{D_1^2 H\sqrt{H}}\left(\frac{\eta_{tlM}}{\eta_{tlT}}\right)^{3/2}\frac{\eta_{ckM}}{\eta_{ckT}};\ \ (kW). \qquad (6.29)$$

ở đây: n_1' là số vòng quay dẫn ;

Q_1' là lưu lượng quy dẫn ;

N_1' là công suất quy dẫn.

Khi tính gần đúng, có thể bỏ qua sự chênh lệch hiệu suất, khi đó ta có:

$$n_1' = \frac{nD_1}{\sqrt{H}},\ \ (vg/ph), \qquad (6.30)$$

$$Q_1' = \frac{Q}{D_1^2\sqrt{H}},\ \ (m^3/s), \qquad (6.31)$$

$$N_1' = \frac{N}{D_1^2 H\sqrt{H}}.\ \ (kW). \qquad (6.32)$$

6.4. SỐ VÒNG QUAY ĐẶC TRƯNG

6.4.1. Định nghĩa

Khi chọn hoặc thiết kế tuabin thường căn cứ vào các các thông số cơ bản cho trước là cột áp, công suất (hoặc lưu lượng) và số vòng quay làm việc của tổ máy. Trong lĩnh vực chế tạo tuabin thuỷ điện, để đặc trưng cho các máy tương tự nhau người ta sử dụng một thông số gọi là số vòng quay đặc trưng và ký hiệu là n_S.

Số vòng quay đặc trưng của một tuabin nào đó là số vòng quay của một tuabin mẫu đồng dạng hình học với tuabin thực, khi làm việc với cột áp bằng 1m cột nước thì phát ra công suất bằng 1 mã lực.

Sử dụng các công thức (5.24) và (5.26), coi các đại lượng H_M = 1m; N_M = 1ml; $n_M = n_S$; $H_T = H$, $N_T = N$, $n_T = n$ và coi hiệu suất của tuabin mẫu và thực như nhau ta có:

$$n_S = \frac{n\sqrt{N_{ml}}}{H^{5/4}},\ \ vg/ph \qquad (6.33)$$

ở đây: n là số vòng quay trong 1 phút ;

H là cột áp của tuabin tính bằng m ;

N là công suất của tuabin tính bằng mã lực.

Nếu công suất tính bằng kW, ta có công thức tính n_S như sau:

$$n_S = \frac{1,16n\sqrt{N_{kW}}}{H^{5/4}}, \qquad \text{vg/ph} \tag{6.34}$$

Hai tuabin tương tự nhau thì có n_S giống nhau không phụ thuộc vào các trị số công suất, lưu lượng, cột áp. Số vòng quay n_S của tuabin thay đổi trong khoảng rộng từ 10 ÷ 1200 vg/ph.

6.4.2.Phân loại tuabin

Ta biết rằng năng lượng đơn vị của dòng chảy truyền cho bánh công tác của tuabin xác định theo công thức:

$$H = \underbrace{Z_1 - Z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\gamma}}_{\text{thế năng}} + \underbrace{\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}}_{\text{động năng}}$$

Tuỳ thuộc vào dạng năng lượng của dòng chảy tác dụng lên bánh công tác của tuabin, người ta chia tuabin thành hai hệ: tuabin phản lực và tuabin xung lực.

6.4.2.1. Hệ tuabin phản lực

Là hệ tuabin, trong đó bánh công tác quay được là do tác dụng phản lực của dòng chảy. Trong quá trình làm việc của tuabin cả hai thành phần thế năng và động năng của dòng chảy đều biến đổi (nhưng chủ yếu là thế năng). Ở cửa vào của tuabin áp suất luôn luôn lớn hơn áp suất ở cửa ra và dòng chảy qua tuabin là dòng chảy liên tục, chất lỏng luôn điền đầy toàn bộ máng dẫn. Vận tốc dòng chảy qua tuabin tăng dần, áp suất giảm dần. Máng dẫn bánh công tác có dạng hình côn. Trong chảy bao lá cánh vận tốc dòng chảy phía trên lá cánh thấp hơn phía dưới, do vậy áp suất dòng chảy phía trên lá cánh cao hơn phía dưới tạo ra lực tác dụng lên lá cánh làm quay bánh công tác của tuabin.

6.4.2.2. Hệ tuabin xung lực

Là hệ tuabin, trong đó bánh công tác quay được là do xung lực (động năng) của dòng chảy. Trong quá trình làm việc chỉ có phần động năng của dòng chảy thay đổi, còn phần thế năng không thay đổi, áp suất ở cửa vào và cửa ra của bánh công tác là áp suất khí trời.

Tuabin phản lực và tuabin xung lực có tính năng và phạm vi sử dụng khác nhau. Tuabin phản lực dùng cho trạm có cột nước thấp, lưu lượng lớn. Còn tuabin xung lực dùng cho trạm có cột nước cao, lưu lượng nhỏ.

6.5. MỘT SỐ DẠNG KẾT CẤU CỦA TUABIN

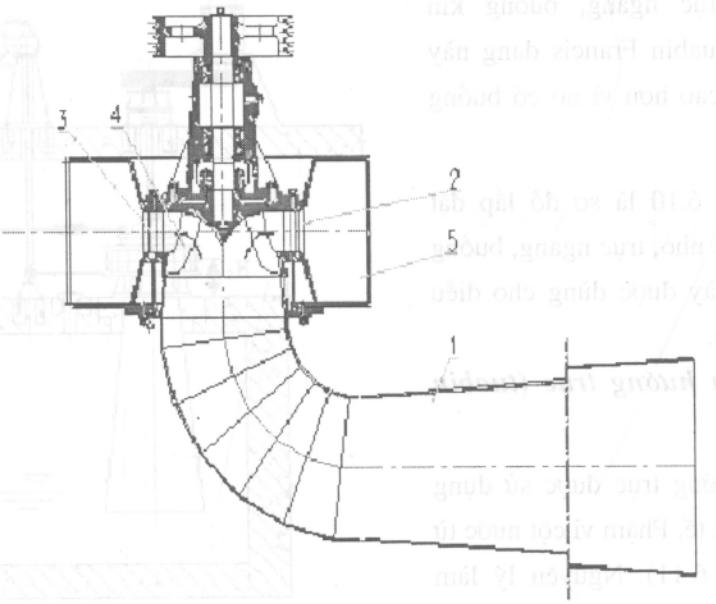
6.5.1. Tuabin phản lực

6.5.1.1. Tuabin Francis

Trên hình 6.6 là sơ đồ kết cấu của tuabin phản lực kiểu tâm trục (tuabin Francis). Nguyên lý làm việc của tuabin như sau:

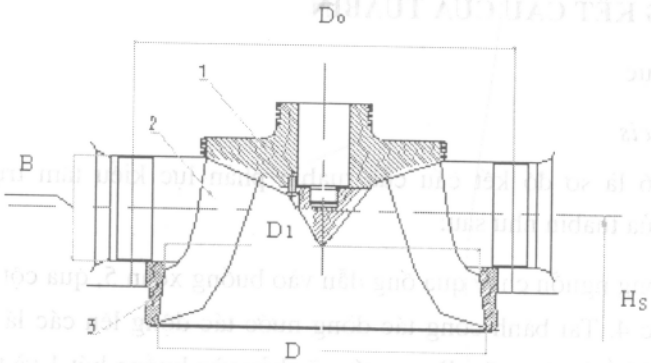
Nước từ thượng nguồn chảy qua ống dẫn vào buồng xoắn 5, qua cột trụ 2, cánh hướng 3 rồi vào bánh công tác 4. Tại bánh công tác dòng nước tác động lên các lá cánh làm cho bánh công tác quay, ra khỏi bánh công tác dòng nước sẽ chảy vào buồng hút 1 và thoát ra hạ lưu.

Bánh công tác gồm hai vành: Vành đĩa trên 1 và vành đĩa dưới 3 (hình 6.7), giữa chúng có gắn các cánh 2. Cánh có dạng cong không gian. Số cánh từ 12 ÷ 22. Đặc trưng cho bánh công tác là tỷ số D_2/D_1. Nếu H = 80m thì $D_2/D_1 = 1$ nếu H > 80m thì $D_2/D_1 < 1$. Các thông số kết cấu của bánh công tác như tỷ số B_0/D_1; D_2/D_1 có giá trị khác nhau phụ thuộc vào số vòng quay đặc trưng của tuabin. thông thường $B_0/D_1 = 0{,}08 \div 0{,}035$; $D_2/D_1 = 0{,}65 \div 1{,}2$.



Hình 6.6- Sơ đồ kết cấu của tuabin phản lực kiểu tâm trục (tuabin Francis) .

Tuabin Francis được sử dụng cho các trạm có cột áp H = 30 ÷ 60m. Đối với các tuabin công suất cực nhỏ (một vài kW) có thể ứng dụng cho cột áp thấp (H tới 4m). Thông số quy dẫn của tuabin Francis trong khoảng: $n'_1 = 60 \div 120$vg/ph; $Q'_1 = 400 \div 1000$l/s.



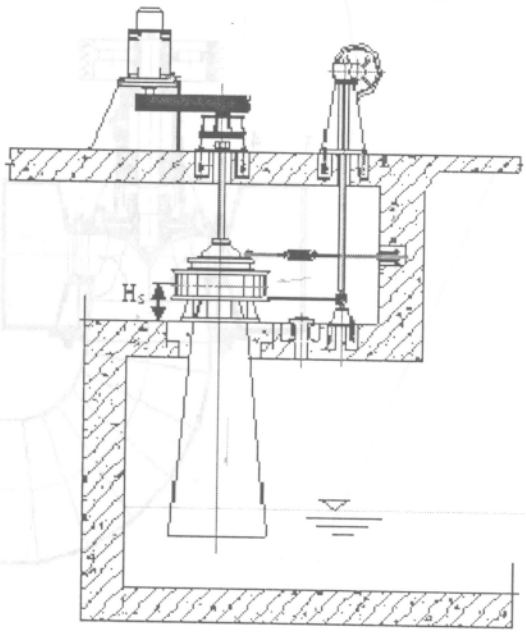
Hình 6.7- Sơ đồ kết cấu bánh công tác tuabin Francis.

6.5.1.2. Tuabin Francis buồng hở

Trên hình 6.8 là sơ đồ lắp đặt tuabin Francis kiểu buồng hở. Tuabin không có buồng xoắn, trục đứng, ứng dụng cho các tổ máy thuỷ điện cực nhỏ cột nước thấp.

Trên hình 6.9 là sơ đồ lắp đặt tuabin Francis trục ngang, buồng kín (kiểu ống loe). Tuabin Francis dạng này dùng cho cột áp cao hơn vì nó có buồng dẫn dòng kín.

Trên hình 6.10 là sơ đồ lắp đặt tuabin Francis cực nhỏ, trục ngang, buồng hở. Loại tuabin này được dùng cho điều kiện cột nước thấp.

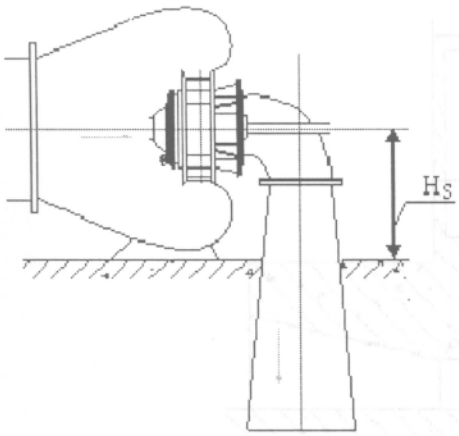


Hình 6.8- Sơ đồ lắp đặt tuabin Francis kiểu buồng hở.

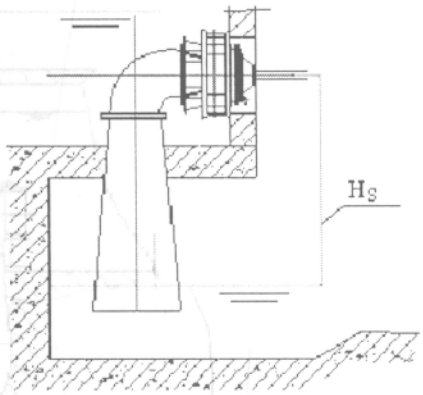
6.5.1.3. Tuabin hướng trục (tuabin Kaplan)

Tuabin hướng trục được sử dụng rộng rãi trong thực tế. Phạm vi cột nước từ 1,5 ÷ 60m (hình 6.11). Nguyên lý làm việc của tuabin dạng này như sau: dòng chảy từ thượng lưu chảy qua ống dẫn vào buồng xoắn 1, qua cột trụ 2, cánh hướng 3 và vào bánh công tác theo phương hướng trục. Sau khi trao đổi năng lượng với bánh công tác, dòng chảy tiếp tục chảy xuống buồng hút. Bánh công tác của tuabin gồm có: bầu cánh

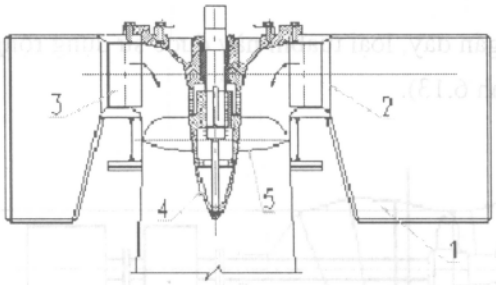
hình trụ và chỗ lắp cánh có thể là mặt trụ hay mặt cầu.



Hình 6.9- Sơ đồ lắp đặt tuabin Francis cực nhỏ, trục ngang buồng kín (kiểu ống loe).



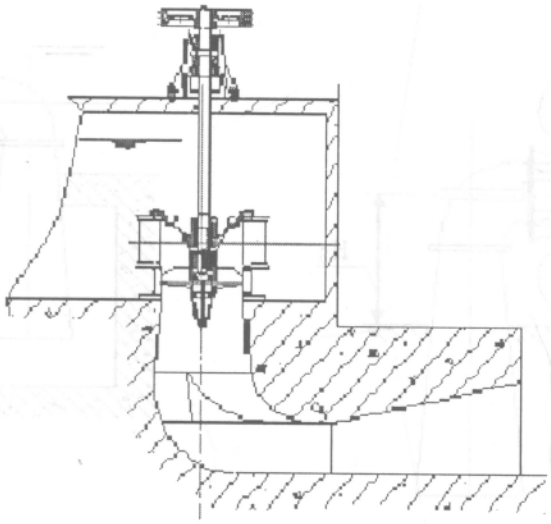
Hình 6.10- Sơ đồ kết cấu tuabin Francis cực nhỏ, trục ngang, buồng hở.



Hình 6.11- Sơ đồ kết cấu tuabin hướng trục (Kaplan) kiểu buồng kín.

Bánh công tác gồm nhiều cánh được gắn với bầu. Nếu cánh được gắn cố định với bầu thì gọi là tuabin hướng trục cánh cố định (tuabin chong chóng - tuabin Propeller). Nếu cánh được lắp với bầu có thể quay quanh trục của nó thì gọi là tuabin hướng trục cánh xoay. Cánh có dạng cong theo hai chiều (cong không gian), số cánh có thể từ 3 ÷ 9 cánh.

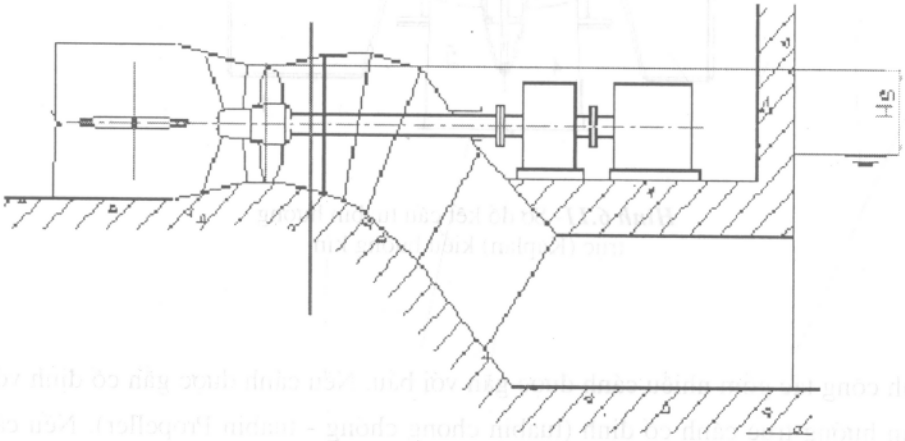
Đặc trưng kết cấu của bánh công tác tuabin hướng trục là tỷ số d_b/D, cột áp càng cao thì tỷ số này càng lớn. Đối với tuabin cực nhỏ, cột nước thấp, có thể dùng tuabin hướng trục, cánh cố định, buồng hở (hình 6.12). Tuabin có thông số quy dẫn như sau: $n'_1 = 100 \div 200$vg/ph ; $Q'_1 = 120 \div 2000$l/s.



Hình 6.12- Sơ đồ lắp đặt tuabin hướng trục cực nhỏ, cột nước thấp, kiểu buồng hở.

6.5.1.4. Tuabin hướng trục trục ngang

Trong những năm gần đây, loại tuabin này được sử dụng rộng rãi cho các trạm thủy điện cực nhỏ, cột nước thấp (hình 6.13).



Hình 6.13. Sơ đồ lắp đặt tuabin hướng trục trục ngang.

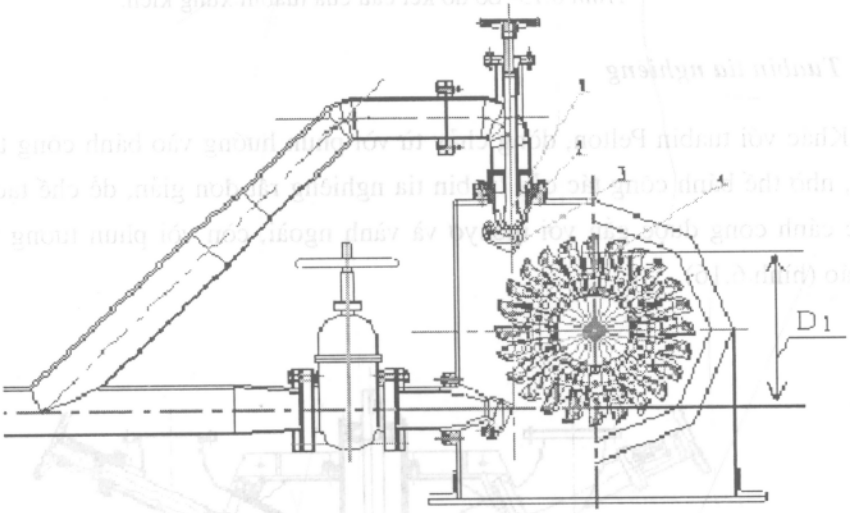
6.5.2. Tuabin xung lực

6.5.2.1. Tuabin gáo (tuabin Pelton)

Tuabin gáo (còn gọi là tuabin Pelton). Tuabin gáo loại công suất lớn có phạm vi sử dụng

theo cột nước H = 300 ÷ 2000m hoặc cao hơn nữa. Còn loại công suất cực nhỏ thì H = 40 ÷ 250m. Trục của tuabin Pelton có thể đứng hoặc ngang. Loại trục ngang thường có công suất nhỏ và có từ 1 ÷ 2 vòi phun cho 1 bánh công tác (hình 6.14). Số lượng bánh công tác thường nhỏ hơn 3. Loại trục đứng thường có số vòi phun nhiều hơn, thường từ 2 ÷ 4 cái, có khi đến 6 cái. Các vòi phun bố trí đều xung quanh bánh công tác. Ở tuabin gáo, nước từ thượng lưu chảy qua ống dẫn, qua van rồi vào vòi phun. Sau khi ra khỏi vòi phun dòng nước tác dụng vào cánh gáo rồi rơi xuống.

Vòi phun 2 có nhiệm vụ biến toàn bộ năng lượng nước thành động năng trước khi vào bánh công tác. Ngoài ra vòi phun còn có kim phun 1 để điều chỉnh lưu lượng. Ở các tuabin có cột nước cao, khi đóng nhanh kim phun sẽ có hiện tượng va đập thuỷ lực đường ống, cho nên muốn giảm lưu lượng nhanh mà kim phun đóng từ từ, người ta dùng cơ cấu hắt nước 3. Bánh công tác gồm đĩa cánh và các cánh gáo 4 được gắn chặt vào đĩa.

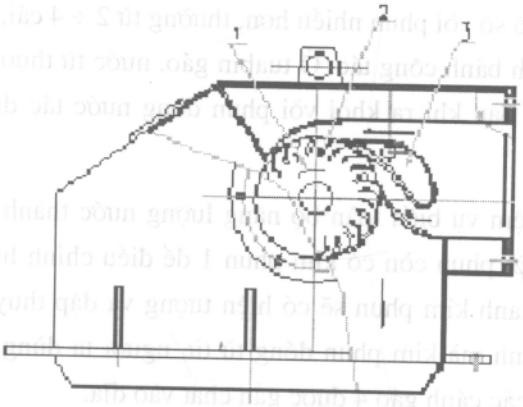


Hình 6.14- Sơ đồ kết cấu tuabin gáo (tuabin Pelton).

6.5.2.2. Tuabin xung kích hai lần (tuabin Banki - Michel)

Loại này có nhiều ưu điểm so với tuabin hướng trục cánh cố định. Trong những năm gần đây nó được sử dụng rộng rãi cho các trạm thuỷ điện có H = 10 ÷ 60m. Sơ đồ của nó được giới thiệu trên hình 6.15. Tuabin gồm vòi phun có lưỡi gà điều chỉnh lưu lượng 3, nước qua vòi phun chảy vào bánh công tác 1 với các cánh 2. Lần thứ nhất bánh công tác nhận khoảng 83% năng lượng của dòng chảy, phần còn lại sẽ tác dụng lên bánh công tác lần thứ hai. Bánh công tác có

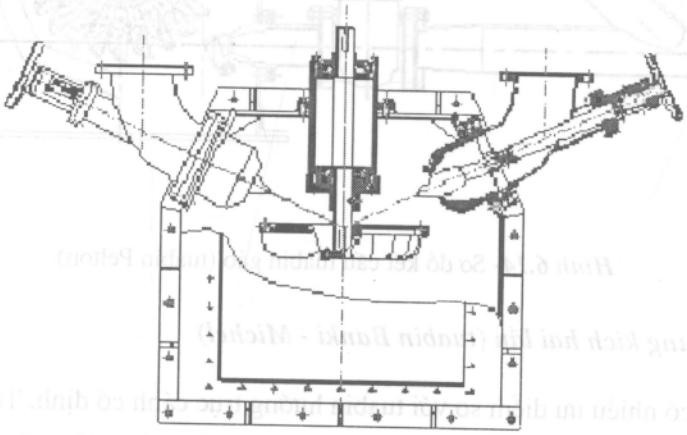
vòng quay quy dẫn: $n'_1 = 30 \div 100$vg/ph



Hình 6.15- Sơ đồ kết cấu của tuabin xung kích.

6.5.2.3. Tuabin tia nghiêng

Khác với tuabin Pelton, dòng chảy từ vòi phun hướng vào bánh công tác dưới một góc nghiêng, nhờ thế bánh công tác của tuabin tia nghiêng rất đơn giản, dễ chế tạo. Bánh công tác gồm các cánh cong được gắn với moayơ và vành ngoài, còn vòi phun tương tự như vòi phun tuabin gáo (hình 6.16).

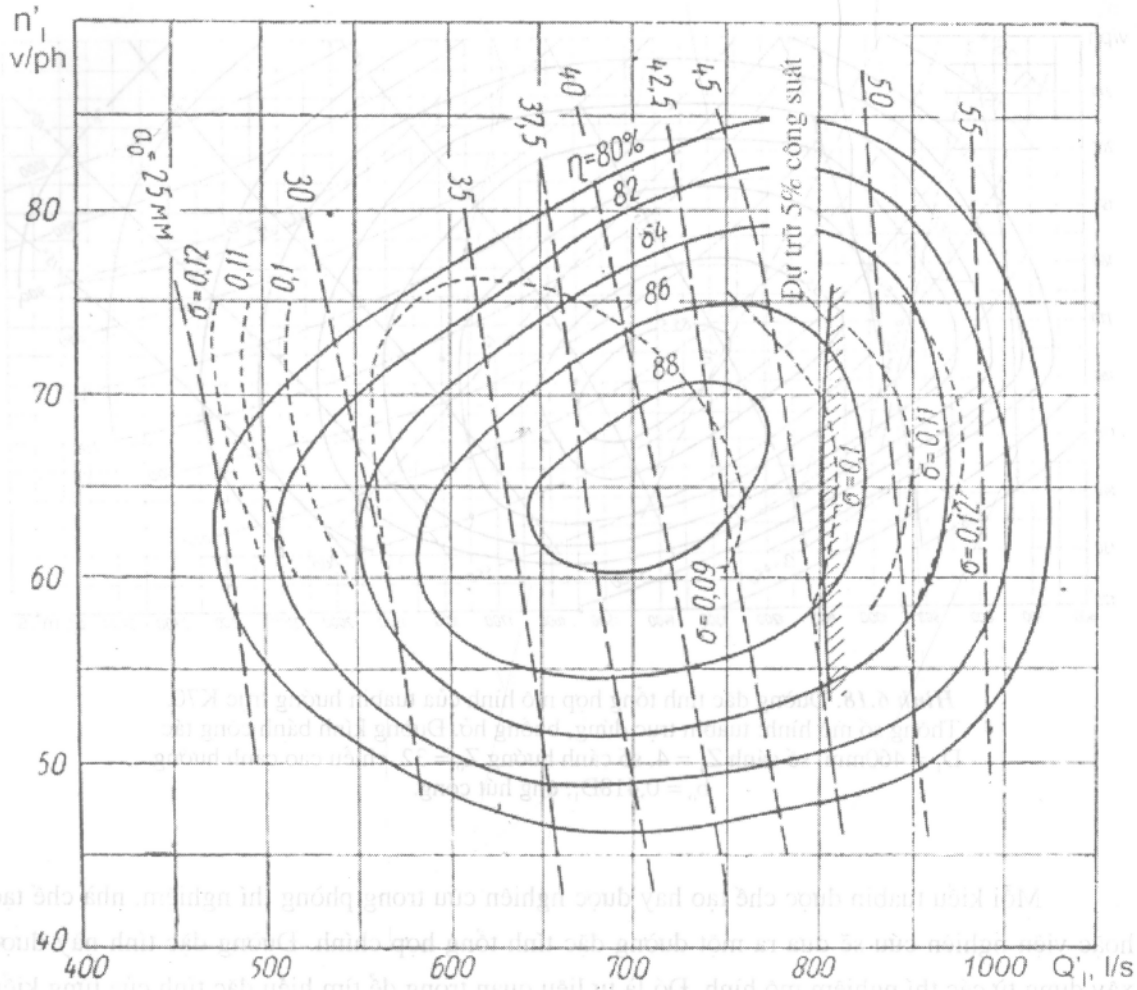


Hình 6.16- Sơ đồ kết cấu tuabin nghiêng hai vòi phun.

6.6. ĐƯỜNG ĐẶC TÍNH VÀ CHIỀU CAO HÚT CỦA TUABIN

6.6.1. Đường đặc tính tổng hợp chính của tuabin

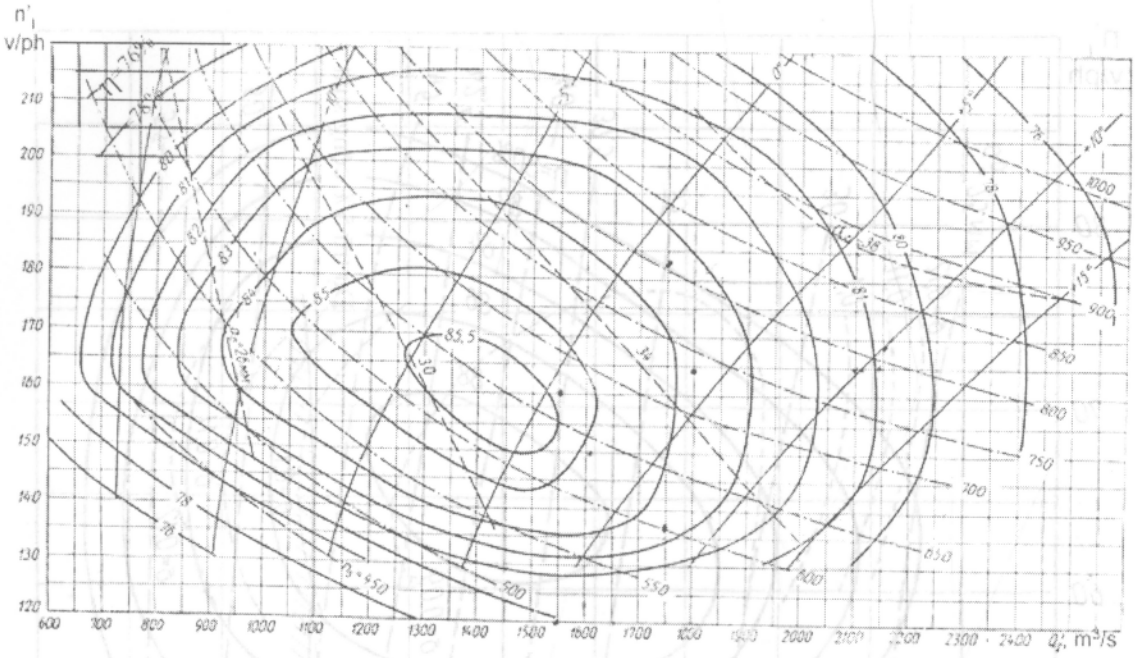
Đó là đường đặc tính tổng hợp mô hình của nó. Đường đặc tính tổng hợp mô hình của tuabin biểu thị mối quan hệ phụ thuộc của hiệu suất vào lưu lượng: $\eta = f(Q)$ khi đường kính bánh công tác D_1 và cột áp H không đổi. Nhưng thông thường các đại lượng n, Q, N được biểu thị dưới dạng các đại lượng quy dẫn n'_1, Q'_1, N'_1. Các đại lượng n, Q và N được tính chuyển đổi sang các đại lượng quy dẫn n'_1, Q'_1, N'_1 nhờ các quan hệ tương tự (5.30 ÷ 5.32).



Hình 6.17- Đường đặc tính tổng hợp mô hình của tuabin tâm trục (Francis) PO82. Thông số mô hình: tuabin trục đứng, buồng xoắn kín. Đường kính bánh công tác D_1 = 460mm, số cánh Z_1 = 15, số cánh hướng Z_o = 16, chiều cao cánh hướng $b_o = 0,2D_1$, ống hút kiểu cong.

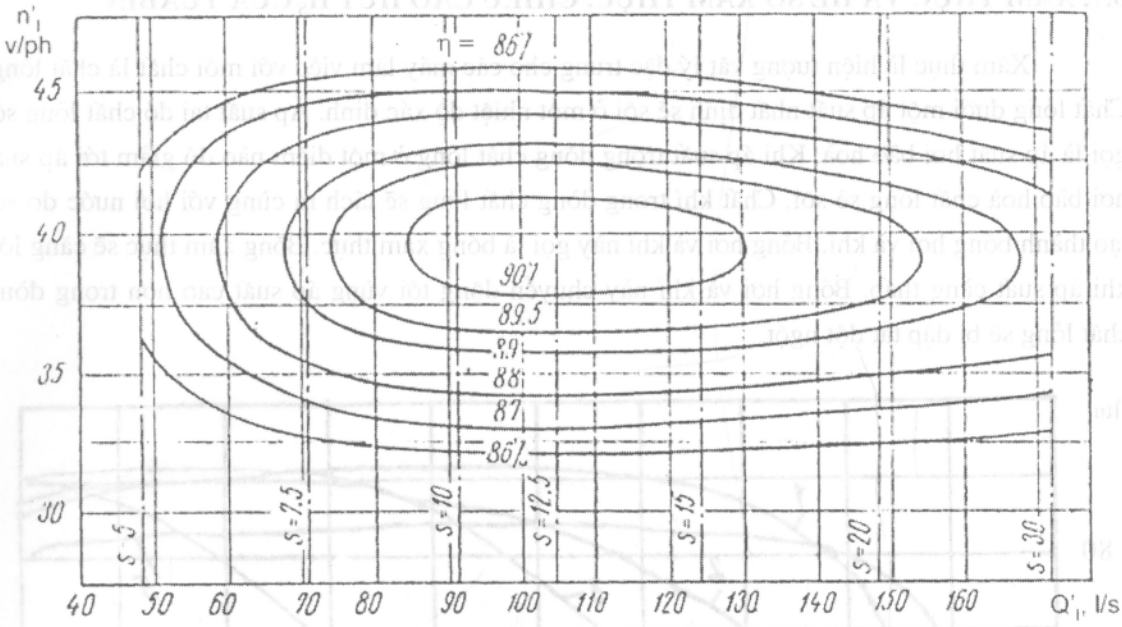
Do đó đường đặc tính tổng hợp chính của tuabin là các đường biểu thị quan hệ $\eta = f(n'_1, Q'_1)$ hoặc $\eta = f(n'_1, N'_1)$, khi $D_1 = 1m$ và $H = 1m$. Loại đường đặc tính $\eta = f(n'_1, Q'_1)$ hay dùng hơn cả. Trên hình 6.17, 6.18 và 6.19 biểu thị tương ứng các đường đặc tính tổng hợp chính của tuabin Francis, Kaplan và Pelton.

Thực tế thì đường đặc tính tổng hợp chính là các đường đồng hiệu suất được vẽ trong toạ độ n'_1, Q'_1. Ngoài các đường đồng hiệu suất còn có các đường đồng độ mở a_0, đồng hệ số xâm thực δ, đường đồng góc đặt cánh φ đối với tuabin Kaplan. Đường hạn chế công suất 95% đối với tuabin Propeller và tuabin Francis. Đường đồng hiệu suất có giá trị tăng từ trong ra ngoài.



Hình 6.18. Đường đặc tính tổng hợp mô hình của tuabin hướng trục K70. Thông số mô hình: tuabin trục đứng, buồng hở. Đường kính bánh công tác $D_1 = 460mm$, số cánh $Z_1 = 4$, số cánh hướng $Z_0 = 32$, chiều cao cánh hướng $b_0 = 0,418D_1$, ống hút cong.

Mỗi kiểu tuabin được chế tạo hay được nghiên cứu trong phòng thí nghiệm, nhà chế tạo hoặc viện nghiên cứu sẽ đưa ra một đường đặc tính tổng hợp chính. Đường đặc tính này được xây dựng từ các thí nghiệm mô hình. Đó là tư liệu quan trọng để tìm hiểu đặc tính của từng kiểu tuabin và cũng là tư liệu chính để chọn tuabin cho từng trạm thuỷ điện.



Hình 6.19- Đường đặc tính tổng hợp mô hình của tuabin gáo (tuabin Pelton) k.560, trục đứng, 6 vòi phun. Đường kính bánh công tác D = 335mm, số cánh Z =20, đường kính vòi phun d_o = 36mm (thí nghiệm ở cột áp H = 40m, S- độ dịch chuyển của mũi phun).

6.6.2. So sánh các loại tuabin theo đường đặc tính của chúng

Trên hình 6.20 cho các đường đặc tính hiệu suất tương đối $\overline{\eta} = \eta / \eta_{tu}$ của các loại tuabin phụ thuộc vào sự thay đổi của phụ tải $\overline{N} = N / N_{tu}$.

Từ các đồ thị này ta có nhận xét sau:

- Trị số hiệu suất max (η_{max}) của các loại tuabin (trừ tuabin Banki - Michel) là gần như bằng nhau.

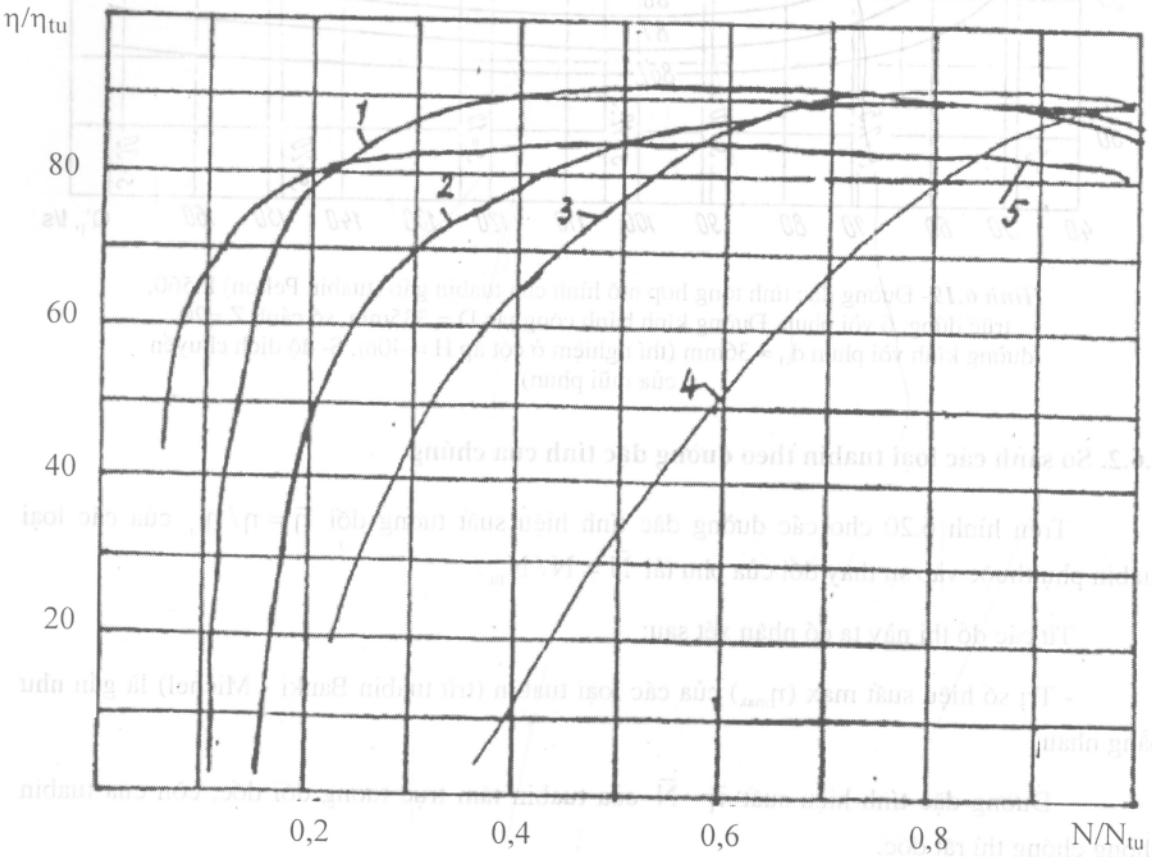
- Đường đặc tính hiệu suất $\overline{\eta}$ - $\overline{N}$ của tuabin tâm trục tương đối dốc, còn của tuabin chong chóng thì rất dốc.

- Đường đặc tính của hiệu suất $\overline{\eta}$ - $\overline{N}$ của tuabin gáo và tuabin Banki - Michel thoải và rộng. Do vậy, nó có khả năng ứng dụng cho những điều kiện cột áp hay lưu lượng thay đổi trong phạm vi rộng. Điều này đặc biệt quan trọng đối với tiềm năng khai thác thuỷ điện nhỏ ở nước ta, vì nước ta có hai mùa rõ rệt: mùa khô và mùa mưa.

- Tuabin Kaplan cũng có đường đặc tính $\overline{\eta}$ - $\overline{N}$ với vùng hiệu suất cao khá rộng nhờ điều chỉnh đồng thời hai thông số (cánh hướng và góc đặt cánh của bánh công tác).

6.7. XÂM THỰC VÀ HỆ SỐ XÂM THỰC, CHIỀU CAO HÚT H_s CỦA TUABIN

Xâm thực là hiện tượng vật lý đặc trưng cho các máy làm việc với môi chất là chất lỏng. Chất lỏng dưới một áp suất nhất định sẽ sôi ở một nhiệt độ xác định. Áp suất tại đó chất lỏng sôi gọi là áp suất hơi bão hoà. Khi áp suất trong dòng chất lỏng ở một điểm nào đó giảm tới áp suất hơi bão hoà chất lỏng sẽ sôi. Chất khí trong dòng chất lỏng sẽ tách ra cùng với hơi nước do sôi tạo thành bóng hơi và khí. Bóng hơi và khí này gọi là bóng xâm thực. Bóng xâm thực sẽ càng lớn khi áp suất càng thấp. Bóng hơi và khí này chuyển động tới vùng áp suất cao hơn trong dòng chất lỏng sẽ bị dập tắt đột ngột.



Hình 6.20- Đường đặc tính hiệu suất tương đối của các loại tuabin:
1 - tuabin Pelton, 2 - tuabin Kaplan, 3 - tuabin Francis,
4 - tuabin chong chóng, 5 - tuabin Banki - Michel

Hiện tượng chất lỏng sôi dưới áp suất thấp và bóng xâm thực bị dập tắt đột ngột ở áp suất cao gọi là hiện tượng xâm thực trong dòng chất lỏng. Khi bóng xâm thực bị dập tắt đột ngột, các phần tử chất lỏng ở xung quanh xô tới chiếm chỗ. Tại tâm bóng xâm thực, vận tốc chất lỏng bằng không, áp suất sẽ tăng vọt, có thể đạt tới áp suất rất cao. Vì chất khí không hoà tan ngay

trong nước, nên vận tốc và áp suất dao động. Do áp suất lớn và dao động nên vật liệu bị phá huỷ dần dần. Nếu hiện tượng xảy ra kéo dài vật liệu sẽ bị phá huỷ nghiêm trọng dẫn tới hư hỏng máy.

Khi xâm thực xảy ra trong tuabin sẽ làm hư hỏng bề mặt các chi tiết mà tại đó xảy ra xâm thực. Trong tuabin, xâm thực thường xảy ra ở phía lưng cánh bánh công tác ở gần mép ra và ở ống xả của tuabin.

Khi xâm thực xảy ra thường phát ra tiếng ồn rất lớn, máy bị rung. Công suất và hiệu suất của tuabin sẽ giảm, khả năng thoát nước của tuabin cũng bị giảm đột ngột.

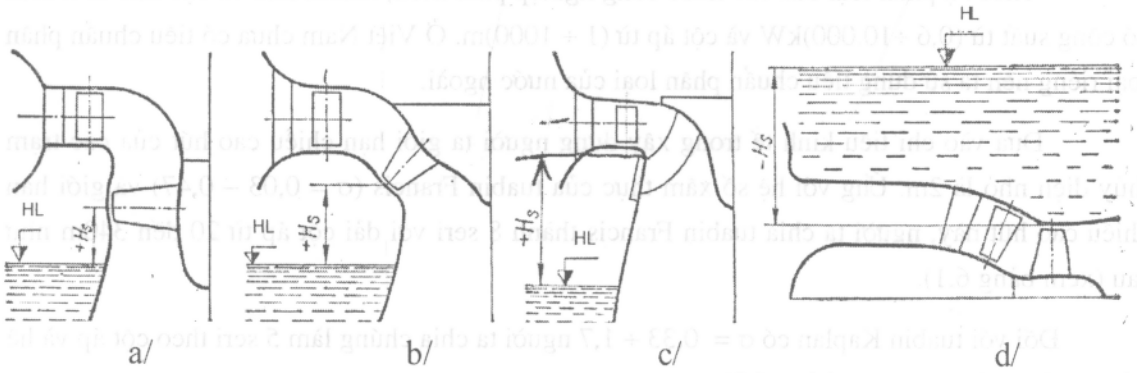
Để đặc trưng cho khả năng xảy ra xâm thực trong tuabin người ta sử dụng hệ số σ, gọi là hệ số xâm thực. Hệ số xâm thực được xác định bằng tỉ số giữa độ chân không thuỷ động H_{td} với cột nước toàn phần H của tuabin.

$$\sigma = \frac{H_{td}}{H}. \qquad (6.35)$$

Hệ số σ phụ thuộc vào đặc tính của bánh công tác tức là vào đặc tính của tuabin. Tuabin có số vòng quay đặc trưng khác nhau sẽ có đặc tính khác nhau. Vì vậy cũng có thể nói, hệ số σ phụ thuộc vào số vòng quay đặc trưng n_S. Khi n_S càng lớn thì σ càng lớn. Lưu lượng có ảnh hưởng tới vận tốc nên cũng có ảnh hưởng tới σ. Khi Q tăng thì σ tăng.

Cho đến nay chưa có phương pháp lý thuyết để xác định chính xác hệ số σ, bởi vậy phải xác định σ thông qua các nghiên cứu thực nghiệm trong phòng thí nghiệm.

Khi lắp đặt tuabin không đúng cũng làm xảy ra xâm thực trong máy mặc dù hệ số σ của tuabin đó là không đổi.



Hình 6.21- Xác định chiều cao hút của tuabin các loại khác nhau:
a/ Tuabin hướng trục đặt đứng; b/ Tuabin hướng chéo trục đứng;
c/ Tuabin tâm trục đặt đứng; d/ Tuabin hướng trục dạng kapsun (tổ kén).

Gọi H_S là chiều cao hút của tuabin, đó là khoảng cách từ mặt nước hạ lưu đến một cao trình quy định cho mỗi loại tuabin (xem các hình 6.21, a, b, c, d).

Để không xảy ra xâm thực trong tuabin việc lắp đặt tuabin phải đảm bảo điều kiện sau:

$$H_S \geq \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{bh}}{\gamma} - \sigma H = B - H_{bh} - \sigma H. \qquad (6.36)$$

trong đó:

- B và P_a là cột áp và áp suất khí quyển, $B = Pa/\gamma$;

- H_{bh} và P_{bh} là cột áp và áp suất hơi bão hoà, ứng với nhiệt độ từ 5 ÷ 30^{0}C thì H_{bh} = 0,08 ÷ 0,43 m ;

- H cột áp trạm thuỷ điện mà tại đó tuabin làm việc.

Cột áp ứng với áp suất hơi bão hoà có giá trị nhỏ so với cột áp khí quyển, nên có thể bỏ qua. Lấy $B = Pa/\gamma = 10$ m và tính tới dự trữ an toàn chống xâm thực lấy K = 1,05 ÷ 1,1, ta có công thức xác định độ cao H_s như sau:

$$H_S = 10 - \frac{\nabla}{900} - K\delta H. \qquad (6.37)$$

ở đây ∇ là độ cao của công trình so với mặt nước biển [m]

6.8. TIÊU CHUẨN HOÁ, XÁC ĐỊNH KÍCH THƯỚC VÀ SỐ VÒNG QUAY CỦA TUABIN

6.8.1. Sơ lược về phương pháp tiêu chuẩn hoá tuabin phản lực

Theo sự phân loại của các nước công nghiệp phát triển, tuabin nhỏ và cực nhỏ là tuabin có công suất từ (0,6 ÷10.000)kW và cột áp từ (1 ÷ 1000)m. Ở Việt Nam chưa có tiêu chuẩn phân loại riêng nên ta sử dụng tiêu chuẩn phân loại của nước ngoài.

Dựa vào chỉ tiêu kinh tế trong xây dựng người ta giới hạn chiều cao hút của các trạm thủy điện nhỏ là 2m. Ứng với hệ số xâm thực của tuabin Francis (σ = 0,03 – 0,47) và giới hạn chiều cao hút này, người ta chia tuabin Francis thành 8 seri với dải cột áp từ 20 đến 340m như sau (xem bảng 6.1).

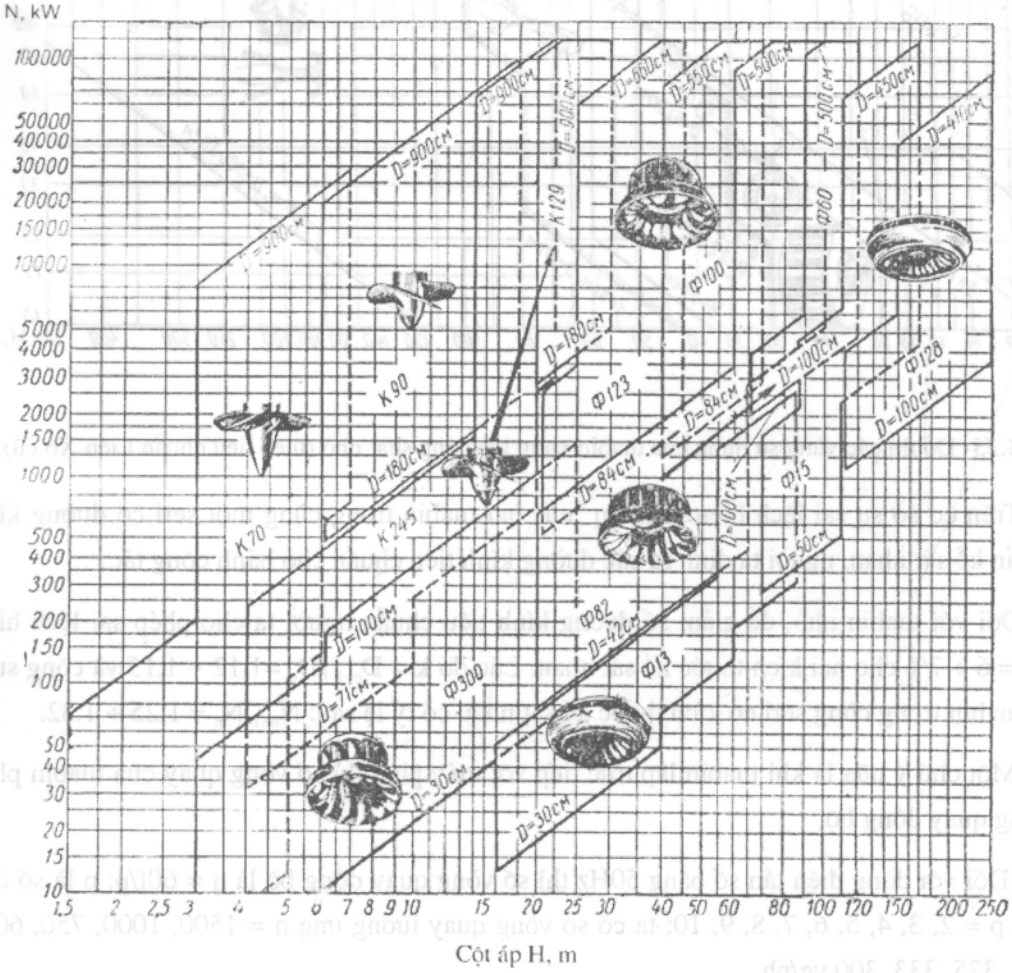
Đối với tuabin Kaplan có σ = 0,33 ÷ 1,7 người ta chia chúng làm 5 seri theo cột áp và hệ số xâm thực như sau (xem bảng 6.2)

Bảng 6.1. **Bảng phân loại tuabin Francis theo cột áp và hệ số xâm thực**

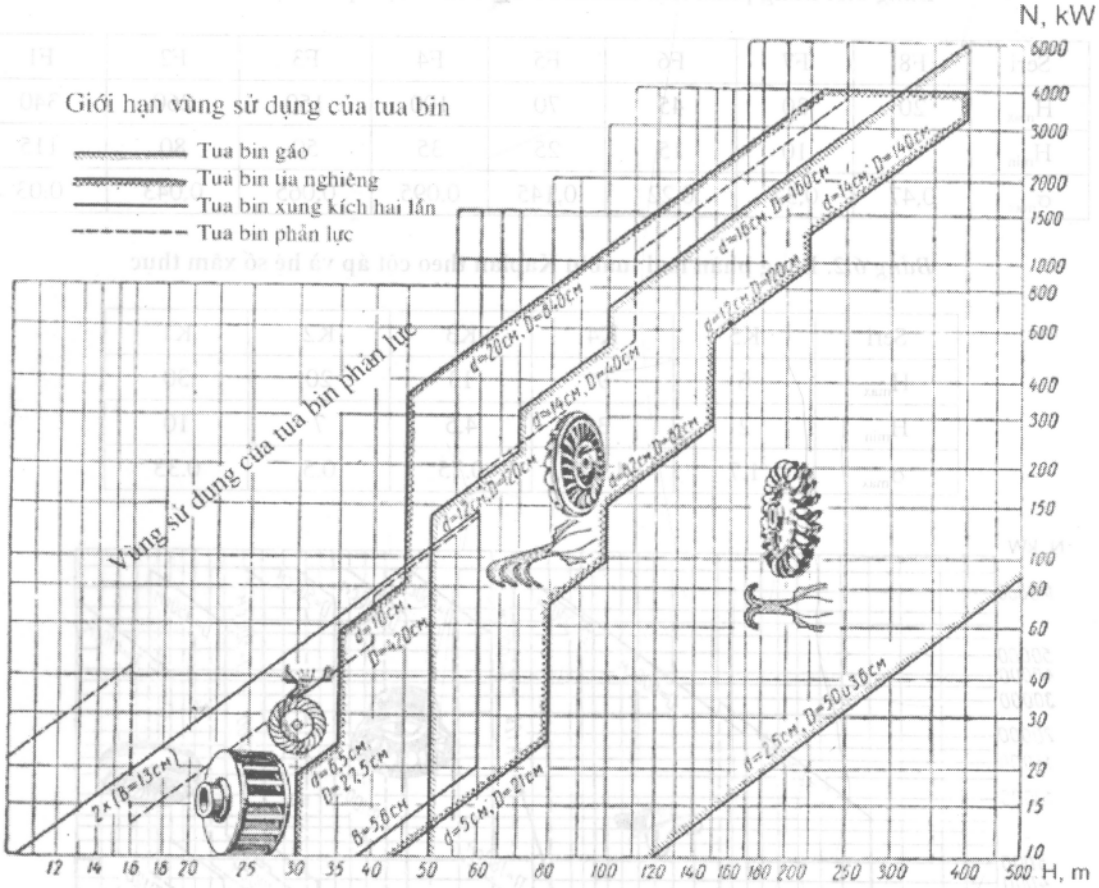
Seri	F8	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1
H_{max}	20	30	45	70	100	150	260	340
H_{min}	7	10	15	25	35	50	80	115
σ_{max}	0,47	0,32	0,22	0,145	0,095	0,065	0,043	0,03

Bảng 6.2. **Bảng phân loại tuabin Kaplan theo cột áp và hệ số xâm thực**

Seri	K5	K4	K3	K2	K1
H_{max}	6	9	13	20	30
H_{min}	2	3	4.5	7	10
σ_{max}	1.7	1.12	0.75	0.5	0.33



Hình 6.22- Đồ thị các vùng sử dụng của tuabin phản lực công suất nhỏ (theo tiêu chuẩn Liên Xô cũ).



Hình 6.23- Đồ thị các vùng sử dụng của tuabin xung lực công suất nhỏ (theo tiêu chuẩn Liên Xô cũ).

Trên cơ sở sự sai lệch hiệu suất $\Delta\eta$ của hai tuabin trong cùng một seri có đường kính tiêu chuẩn kề sát nhau, người ta định ra các đường kính tiêu chuẩn cho bánh công tác.

Đối với tuabin nhỏ, để giảm số đường kính tiêu chuẩn người ta cho phép sai lệch hiệu suất $\Delta\eta = 6 \div 7\%$ cho hai kích thước kề sát nhau. Lúc đó $k = D_{n+1}/D_n = 1{,}12 \div 1{,}15$ và công suất của hai tuabin trong cùng seri có kích thước kề sát nhau có tỷ lệ sau: $N_{n+1}/N_n = 1{,}25 \div 1{,}32$.

Một chú ý nữa là khi tuabin lắp trực tiếp với máy phát thì số vòng quay của tuabin phải là số vòng quay đồng bộ.

Đối với dòng điện tần số bằng 50Hz thì số vòng quay đồng bộ là $n = 60f/p$; p là số đôi cực. Với p = 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10; ta có số vòng quay tương ứng n = 1500, 1000, 750, 600, 500, 428, 375, 333, 300 vg/ph.

6.8.2. Tiêu chuẩn hóa cho tuabin Pelton

6.8.2.1. Một vài kiến thức cơ bản của tuabin Pelton

Trong trường hợp lý tưởng vận tốc vòng U tại đường kính D_1 của bánh công tác bằng một nửa vận tốc dòng chảy ở miệng vòi phun V_{vf}, hay bằng $(0,46 \div 0,49)V_{vf}$.

Ta có biểu thức tính giá trị vận tốc này như sau:

$$U = \frac{\pi n D_1}{60} = (0,46 - 0,49)\, V_{vf}, \tag{6.38}$$

trong đó:

D_1 là đường kính danh nghĩa hay đường kính tâm cánh gáo (xem hình 5.14).

Vvf - vận tốc dòng chảy ở miệng vòi phun được xác định bằng công thức sau:

$$V_{vf} = \varphi\sqrt{2gH}\,. \tag{6.39}$$

với φ là hệ số vận tốc của vòi phun, nó có giá trị $\varphi \approx 0,98$;

H – cột áp của vòi phun, $H = \Delta p/\gamma$;

Δp - độ chênh áp trước và sau vòi phun.

Từ biểu thức (5.38) ta xác định được số vòng quay n của bánh công tác và do đó số vòng quay quy dẫn n'_1 của tuabin bằng:

$$n'_1 = \frac{nD_1}{\sqrt{H}} = (0,46 - 0,49)\frac{60}{\pi}\varphi\sqrt{2g} \approx k_n\varphi. \tag{6.40}$$

với

$$k_n = (0,46 \div 0,49)\frac{60}{\pi}\sqrt{2g} \approx 38,91 \div 41,45\,.$$

Nếu $\varphi = 0,98$ thì $n'_1 \approx 38 - 40$ vg/ph.

Như vậy, tất cả các tuabin Pelton có đặc tính năng lượng tốt thì n'_1 có giá trị trong khoảng 38 ÷ 40 vg/ph.

Lưu lượng của tuabin:

$$Q = Z_{vf} f_{vf} V_{vf} = Z_{vf}\frac{\pi d_{vf}^2}{4}\varphi\sqrt{2gH} \tag{6.41}$$

Lưu lượng quy dẫn của tuabin:

$$Q_1' = \frac{Q}{D_1^2\sqrt{H}} = \frac{\pi}{4} Z_{vf}\varphi\sqrt{2g}\left(\frac{d_{vf}}{D_1}\right)^2 \qquad (6.42)$$

Do $\frac{\varphi}{\pi}\sqrt{2g} \approx 1$, nên ta có:

$$Q_1' = \pi Z_{vf}\left(\frac{d_{vf}}{D_1}\right)^2. \qquad (6.43)$$

Theo công thức này thì lưu lượng là hàm số của số vòi phun và tỉ số d_{vf}/D_1.

Ta chú ý rằng đối với trạm thuỷ điện nhỏ thì số đầu vòi phun không quá 2 vì nếu lớn hơn thì việc chế tạo và vận hành sẽ khó hơn.

Số vòng quay đặc trưng của tuabin (khi công suất tính bằng mã lực):

$$n_S = \frac{n\sqrt{N}}{H\sqrt[4]{H}},$$

Hay $$n_s = 3,65 n_1'\sqrt{Q_1'}.$$

Thay giá trị của n'_1 và Q'_1 vào biểu thức tính n_S ta được:

$$n_S = (247 \div 263)\sqrt{Z}\bar{d}_{vf}. \qquad (6.44)$$

với $\bar{d}_{vf} = d_{vf}/D_1$.

Những nghiên cứu chỉ ra rằng, d_{vf}/D_1 tối ưu trong khoảng 1/10 ÷ 1/15 ứng với số n_S tối ưu bằng 16 ÷ 26 vg/ph cho một vòi phun và bằng 22 ÷ 36 vg/ph cho 2 vòi phun. Giá trị giới hạn d_{vf} = 1/6 ÷ 1/7 và $n_{S\text{giới hạn}}$ = 36 ÷ 42 vg/ph cho một vòi phun và $n_{S\text{giới hạn}}$ = 54 ÷ 62 vg/ph cho 2 vòi phun.

6.8.2.2. Tiêu chuẩn hoá tuabin Pelton

Mục tiêu của các tiêu chuẩn hoá tuabin Pelton là thiết lập các kích thước tiêu chuẩn của bánh công tác, kích thước vòi phun và kích thước cánh gáo.

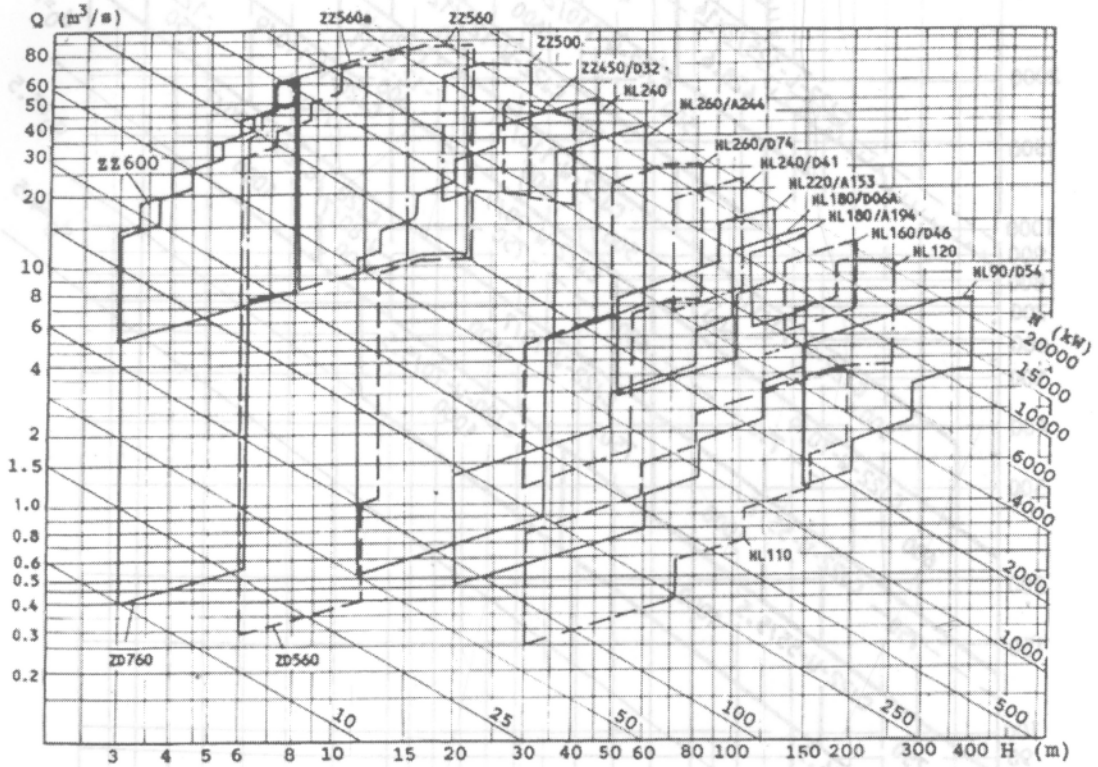
Mỗi loại tuabin với kích thước bánh công tác nhất định có thể hoạt động trong một khoảng cột áp nhất định, vì rằng hiệu suất của tuabin giảm nhanh khi n'_1 lệch khỏi vùng giá trị giới hạn n'_{1min} và n'_{1max}.

Khi hai tuabin có số vòng quay n_S bằng nhau thì :

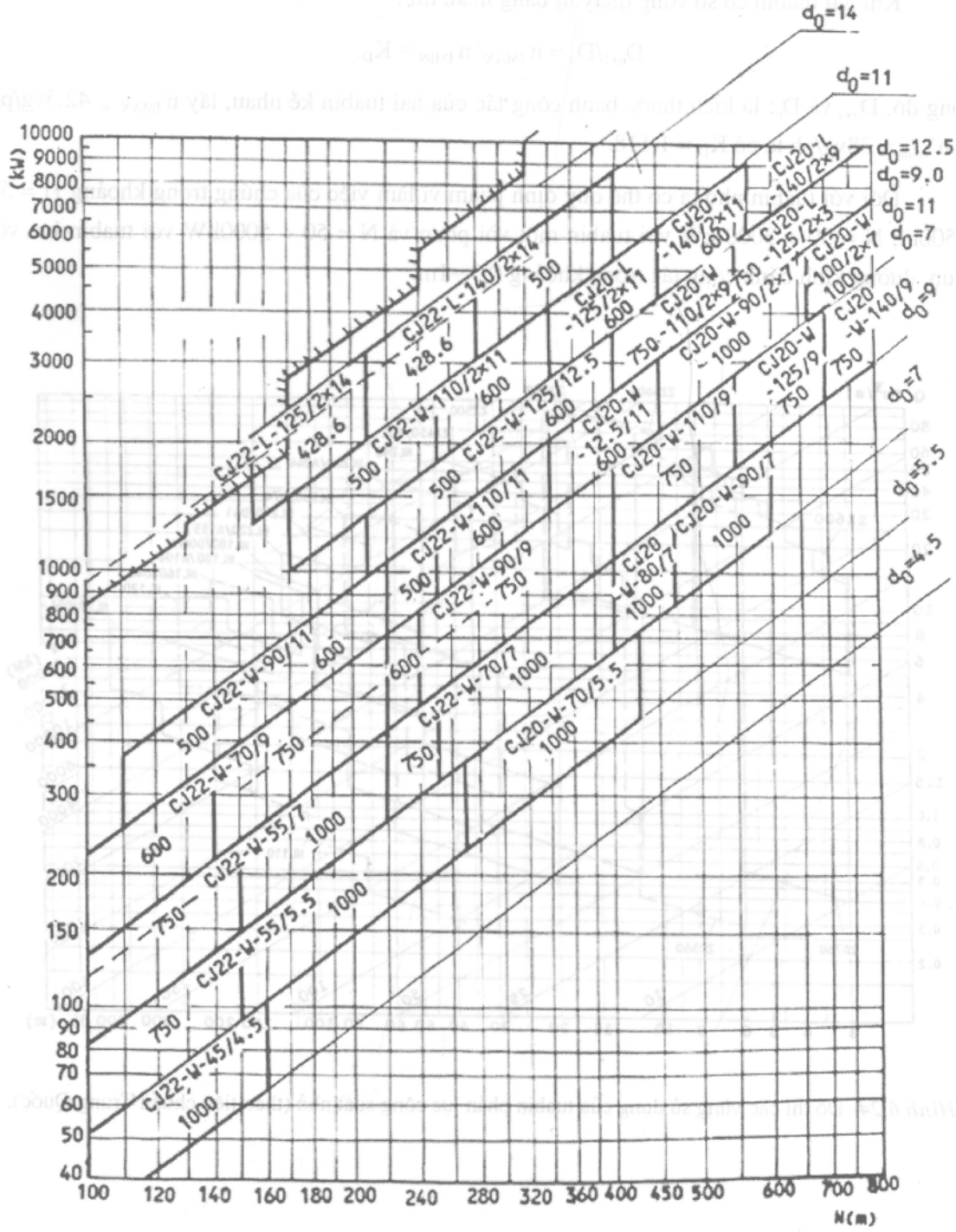
$$D_{n+1}/D_n = n'_{IMAX}/ n'_{IMIN} = K_D.$$

trong đó, D_{n+1} và D_n: là kích thước bánh công tác của hai tuabin kề nhau, lấy n'_{IMAX} = 42,5vg/ph và n'_{Imin} = 38vg/ph ta có K_D = 1,118.

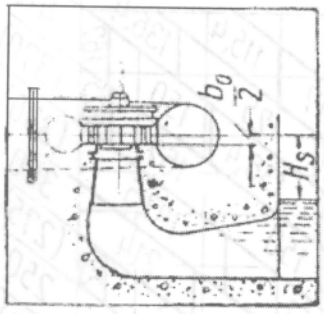
Đối với tuabin nhỏ ta có thể quy định phạm vi làm việc của chúng trong khoảng H = 50 ÷ 500m; N = 50 ÷ 3000 kW với tuabin một vòi phun và N = 50 ÷ 5000kW với tuabin hai vòi phun, đường kính bánh công tác trong khoảng 0,3 ÷1m.



Hình 6.24- Đồ thị các vùng sử dụng của tuabin phản lực công suất nhỏ (theo tiêu chuẩn Trung Quốc).



Hình 6.25- Đồ thị các vùng sử dụng của tuabin xung lực công suất nhỏ (theo tiêu chuẩn Trung Quốc).



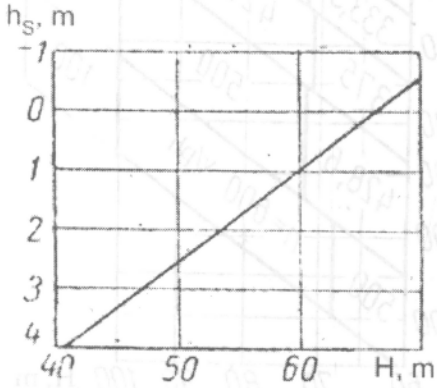
Chú thích:

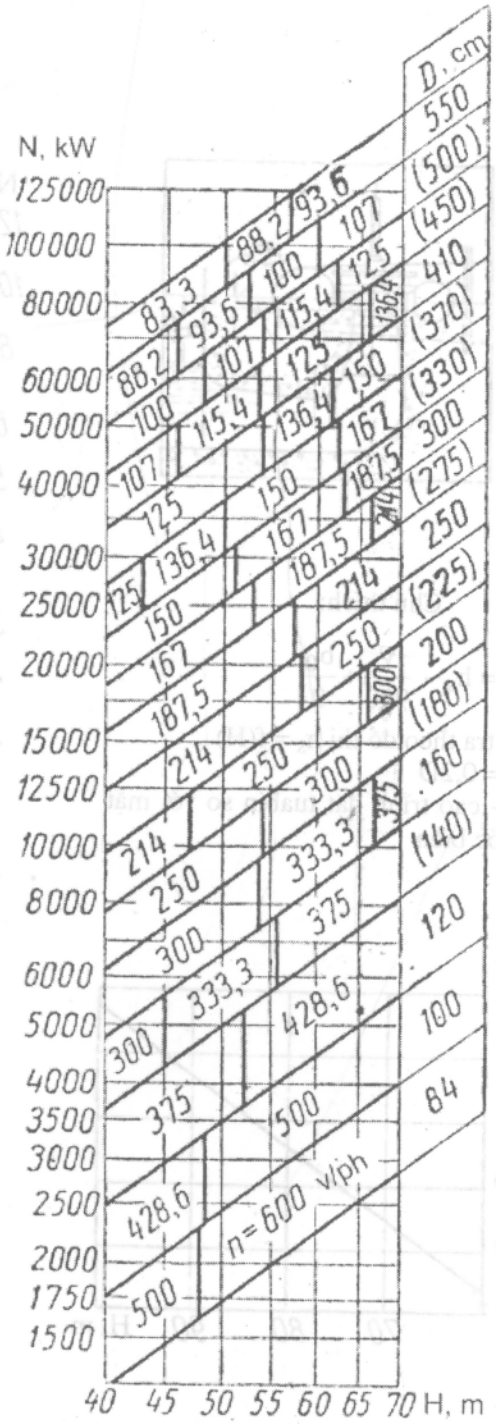
$$H_S = h_S - \frac{\nabla}{900} + \frac{b_0}{2}$$

h_S tra theo đồ thị $h_S = f(H)$

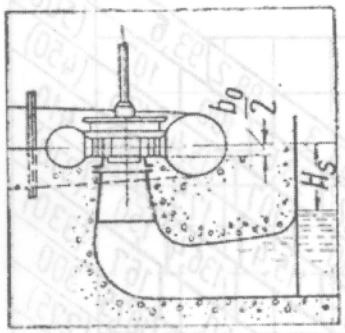
$b_0 = 0{,}3D$

∇ - cao trình đặt tuabin so với mặt nước biển





Hình 6.26- Phạm vi sử dụng của tuabin Francis Φ100- BM.



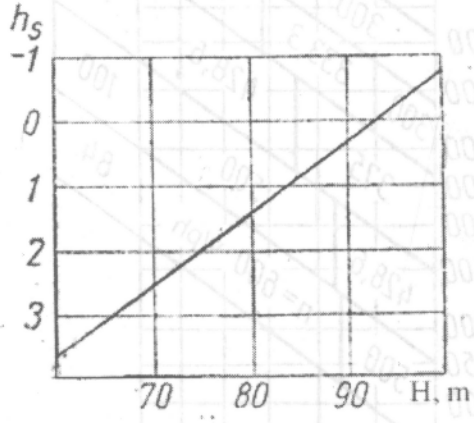
Chú thích:

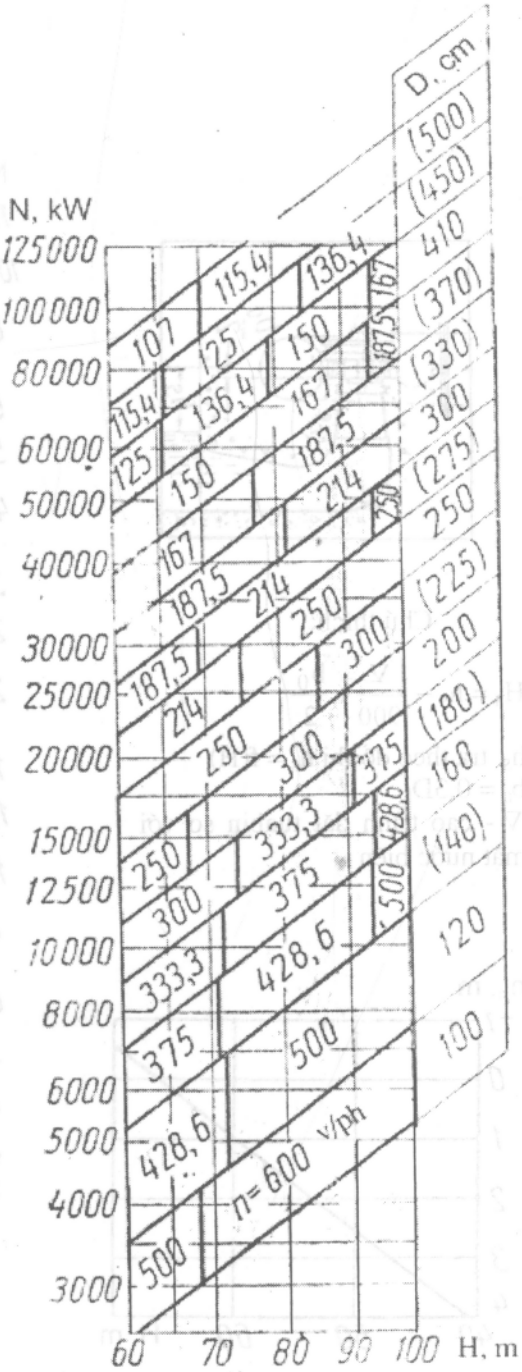
$$H_S = h_S - \frac{\nabla}{900} + \frac{b_0}{2}$$

h_S tra theo đồ thị $h_S = f(H)$

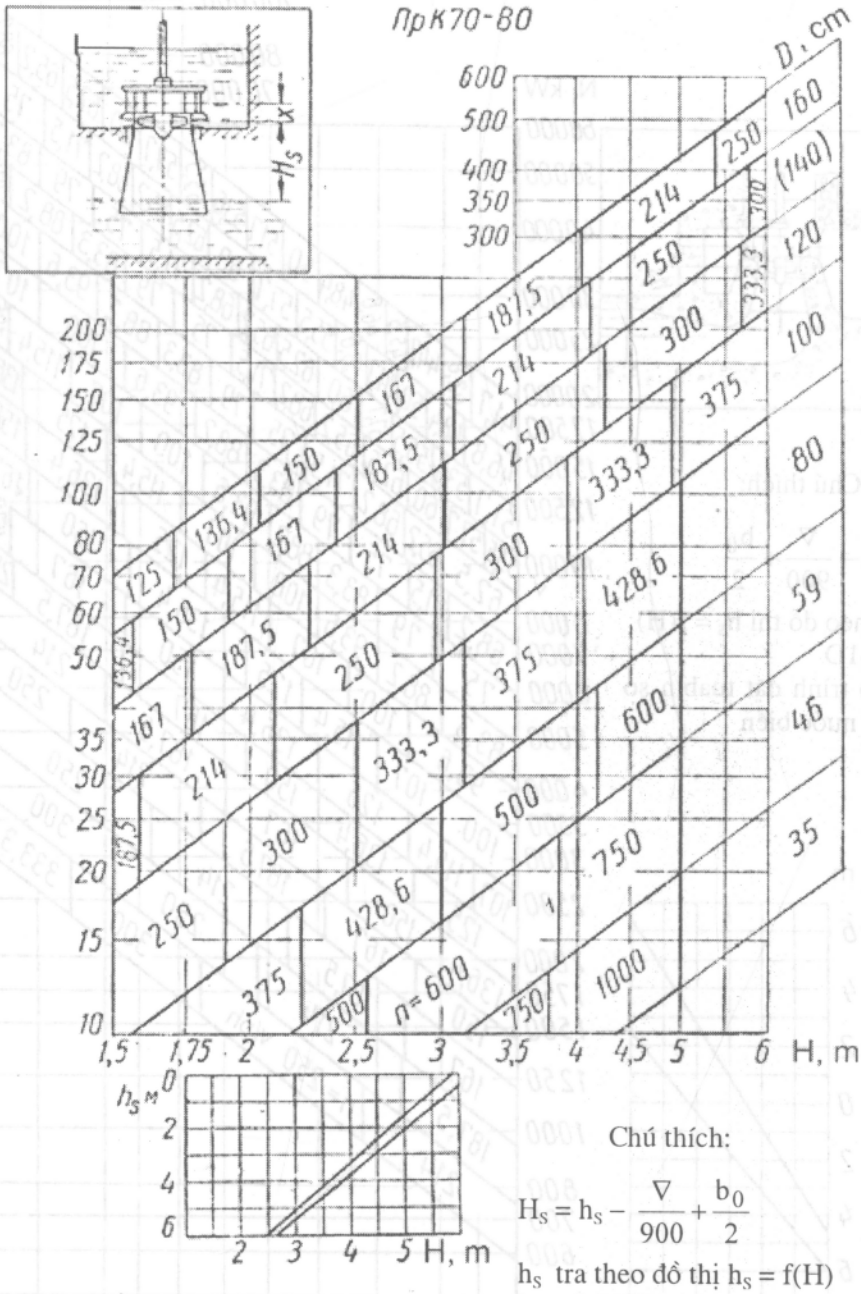
$b_0 = 0{,}2D$

∇ - cao trình đặt tuabin so với mặt nước biển





Hình 6.27- Phạm vi sử dụng của tuabin Francis Φ82- BM.



Chú thích:

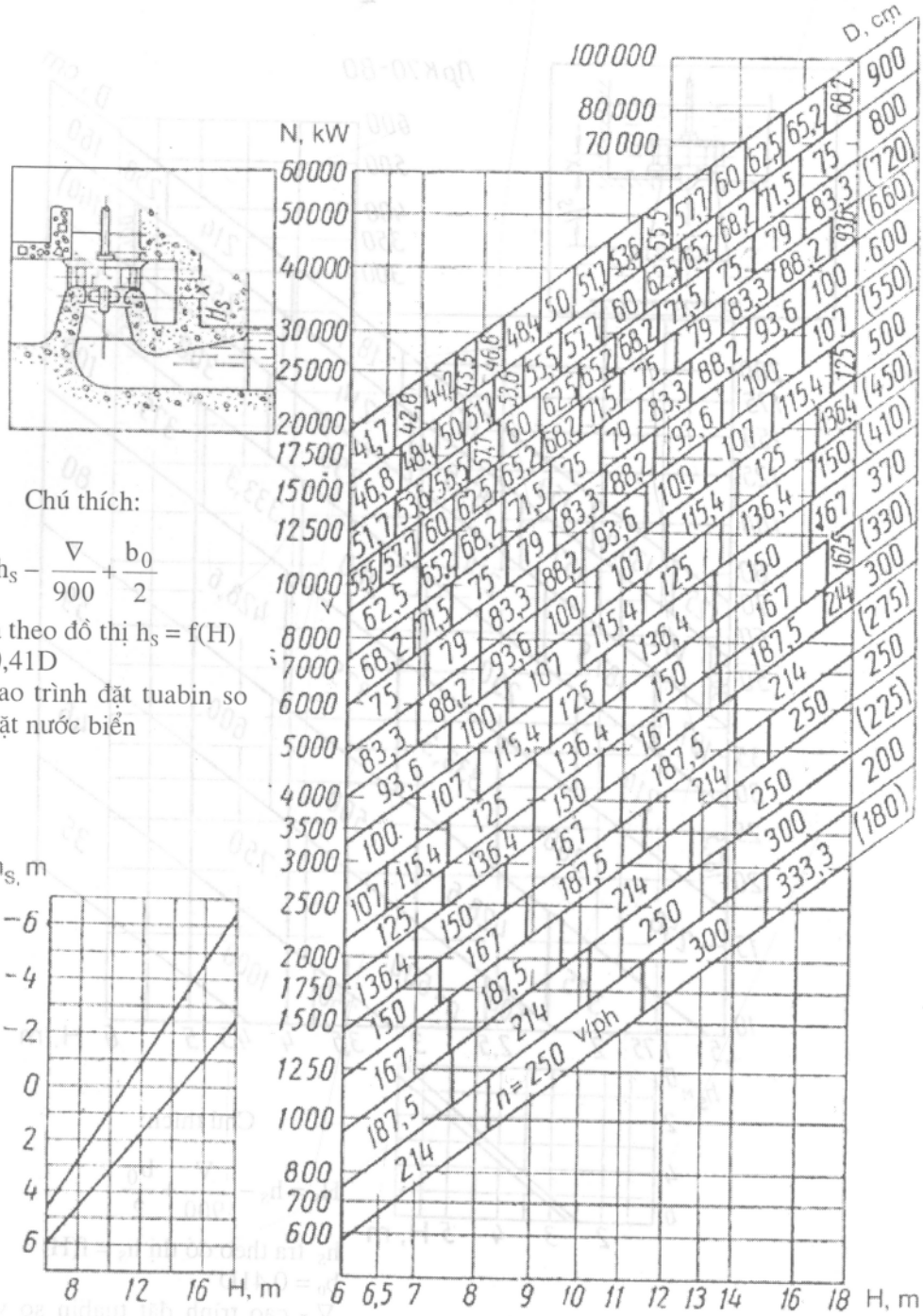
$$H_S = h_S - \frac{\nabla}{900} + \frac{b_0}{2}$$

h_S tra theo đồ thị $h_S = f(H)$

$b_0 = 0{,}41D$

∇ - cao trình đặt tuabin so với mặt nước biển

Hình 6.28- Phạm vi sử dụng của tuabin Kaplan ПрК70- BO.



Chú thích:

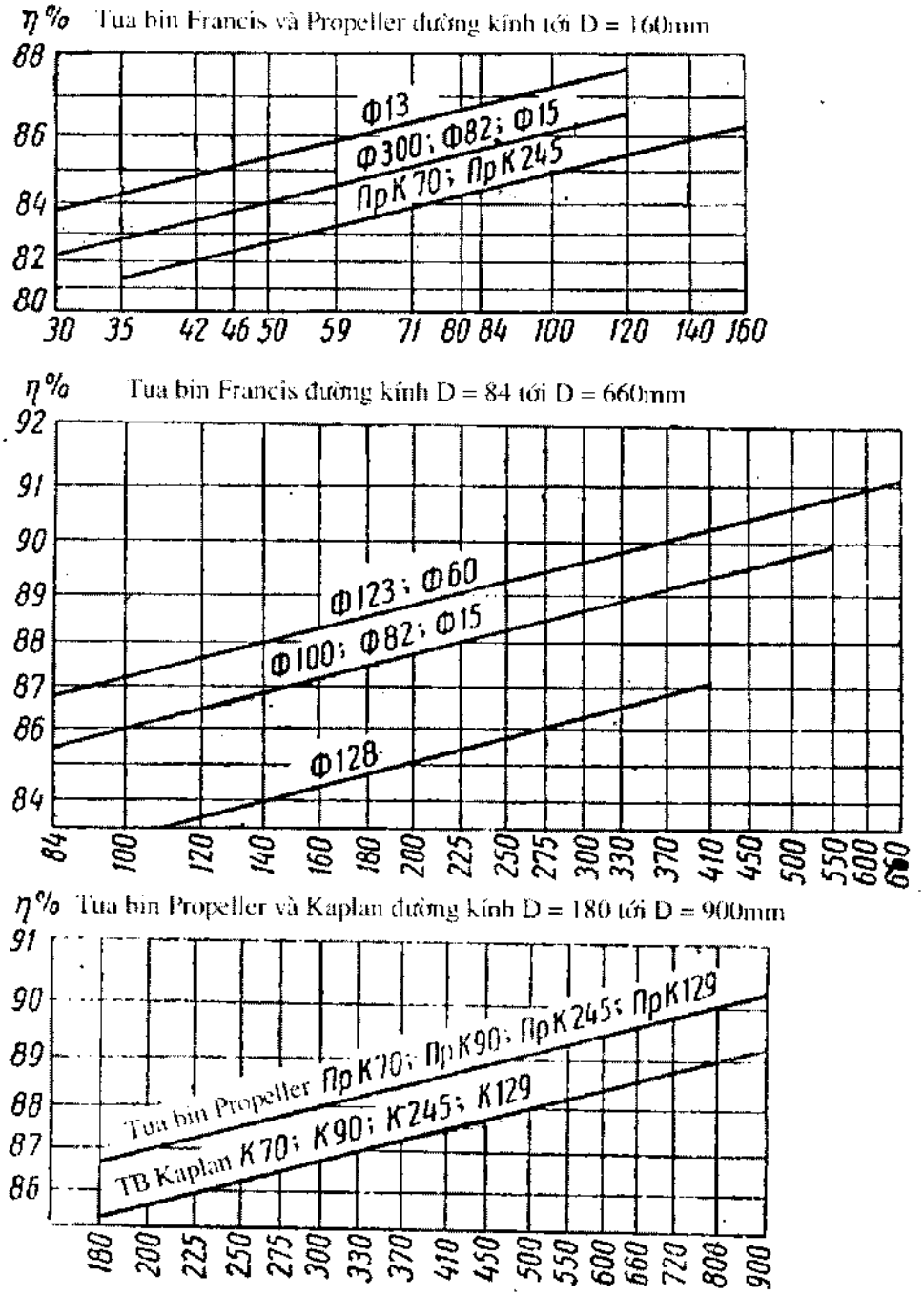
$$H_S = h_S - \frac{\nabla}{900} + \frac{b_0}{2}$$

h_S tra theo đồ thị $h_S = f(H)$

$b_0 = 0{,}41D$

∇ - cao trình đặt tuabin so với mặt nước biển

Hình 6.29- Phạm vi sử dụng của tuabin Kaplan K90- ВБ.



Hình 6.30- Biểu đồ các giá trị hiệu suất gần đúng của tuabin ứng với công suất tối đa.

6.9. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH KÍCH THƯỚC TUABIN CHO MỘT TRẠM THUỶ ĐIỆN NHỎ

6.9.1. Phương pháp dựa vào biểu đồ

Trên cơ sở các hiểu biết về tiêu chuẩn hóa tuabin thuỷ điện nhỏ, ta có thể chọn tuabin cũng như máy phát cho một trạm thuỷ điện nhỏ bất kỳ.

Vì nước ta chưa có tiêu chuẩn của tuabin nên ta có thể dựa theo các tiêu chuẩn và ký hiệu của nước ngoài như: Nga, Trung quốc và các nước khác.

Trên cơ sở cột áp H và công suất N đã chọn, dựa vào biểu đồ vùng sử dụng của tuabin (hình 6.22, 6.23, 6.24 và 6.25), ta có thể xác định được loại tuabin và dạng kết cấu của nó. Với cùng thông số cột áp H và công suất N ta có thể tìm được hai loại tuabin đều thoả mãn điều kiện đã cho, khi đó ta phải tiến hành tính toán cả hai phương án để lựa chọn.

Với mỗi loại tuabin, tra theo biểu đồ vùng sử dụng riêng cho từng loại (hình 6.26; 6.27) ứng với N và H đã cho, ta chọn được đường kính D_1 của bánh công tác và số vòng quay n của tuabin đã tiêu chuẩn hoá.

Xác định h_S (cột áp dự trữ chống xâm thực) theo biểu đồ và tính chiều cao hút H_S của tuabin:

$$H_S = h_S - \nabla/900, \quad \text{đối với tuabin Kaplan.} \qquad (6.45,a)$$

$$H_S = h_S - \nabla/900 + b_1/2, \quad \text{đối với tuabin Francis.} \qquad (6.45,b)$$

Tuabin nào có chiều cao hút H_S lớn hơn sẽ có hiệu quả kinh tế cao hơn do chi phí xây dựng thấp hơn.

6.9.2. Phương pháp chọn tuabin dựa vào đường đặc tính tổng hợp chính của tuabin mô hình

Số liệu cần cung cấp: cột áp làm việc H_{TT}, công suất của trạm N_{TT}, số tổ máy, phạm vi thay đổi cột áp $H_{min} - H_{max}$, tính chất phụ tải của trạm và có thể giới hạn H_S để đảm bảo hiệu quả kinh tế của công trình.

Dựa vào các biểu đồ hình 6.22- hình 6.25, ta xác định được loại tuabin. Sau đó, dựa vào đường đặc tính tổng hợp chính của từng loại (xem hình 6.19- 6.21) để tính chọn thông số thích hợp, đảm bảo hiệu quả kinh tế đầu tư và khai thác của công trình. Ứng với mỗi loại tuabin, dựa vào cột áp H_{TT} và công suất tính toán của mỗi tổ máy N_{TT}, chọn các thông số quy dẫn Q'_1 và n'_1.

Đối với tuabin Francis, chọn Q'_I nằm trên đường giới hạn công suất 5%, còn đối với tuabin Kaplan thì chọn Q'_I trong giới hạn Q'_{Imin}- Q'_{Imax}

Số vòng quay quy dẫn n'_I của tuabin được chọn như sau:

Đối với tuabin Francis, chọn n'_I lớn hơn n'_I tối ưu trên đường đặc tính tổng hợp mô hình 3-5 vòng /phút. Từ số vòng quay quy dẫn, ta xác định số vòng quay thực n của tuabin theo (5.30). Số vòng quay này phải bằng số vòng quay của máy phát (nếu tuabin nối trực tiếp với máy phát). Nếu có sự sai khác thì lấy bằng số vòng quay đồng bộ gần nhất. Sau đó tính lại n'_I. Nếu giá trị mới của n'_I và Q'_I vẫn nằm trong phạm vi hiệu suất của tuabin (η_{TUABIN}) cao là được. Nếu chúng vượt ra ngoài vùng η_{TUABIN} cao thì phải tính toán lại số vòng quay n.

6.9.3. Ví dụ tính chọn tuabin

6.9.3.1. Tuabin Francis

Các thông số cho trước là: Cột áp H = 65m, công suất N = 7000kW, cao trình lắp đặt tuabin ∇ = 180m.

Trên đồ thị vùng sử dụng tuabin (hình 6.22) điểm làm việc (tương ứng H và N) rơi vào vùng tuabin Φ100-BM và Φ82-BM. Đó là các tuabin Francis trục đứng, buồng xoắn kim loại. Để so sánh hai loại tuabin này ta sử dụng các đồ thị vùng sử dụng riêng của mỗi loại tuabin (hình 6.26 và 6.27).

Trên đồ thị vùng sử dụng của tuabin Φ 100-BM (hình 6.26) điểm làm việc rơi vào vùng có đường kính bánh công tác D = 120cm, số vòng quay n = 428,6 vg/ph.

Theo đồ thị $h_S = f(H)$ cũng trên hình này ta xác định được h_S = + 0,2m. Theo (6.45,b) ta xác định được chiều cao hút H_S của tuabin bằng:

$$H_S = h_S - \frac{\nabla}{900} + \frac{b_O}{2} = 0,2 - 0,2 + 0,18 = +0,18\text{m}.$$

Theo biểu đồ hiệu suất gần đúng của các loại tuabin (hình 6.30) với đường kính 120cm của tuabin ϕ100 ta tìm được η≈ 86,5%.

Khi đó ta xác định được lưu lượng của tuabin bằng:

$$Q = \frac{N}{9,81.H.\eta} = \frac{7000}{9,81.65.0,865} = 12,7.\text{m}^3/\text{s}.$$

Tiếp theo, trên đồ thị vùng sử dụng của tuabin Φ82-BM (hình 6.27) điểm làm việc rơi vào vùng có đường kính bánh công tác D = 140cm, số vòng quay n = 375 vg/ph.

Giá trị h_S tìm được $h_S = +3,2$ m.

Chiều cao hút của tuabin:

$$H_S = 3,2 - 0,2 + 0,14 = +3,14 \text{ m}.$$

Theo biểu đồ hiệu suất gần đúng của các loại tuabin (hình 6.30) với đường kính 140cm của tuabin Φ82 ta tìm được $\eta \approx 87\%$.

Lưu lượng của tuabin bằng:

$$Q = \frac{7000}{9,81.65.0,87} = 12,6.\text{m}^3/\text{s}.$$

So sánh hai loại tuabin ta thấy là: Tuabin Φ100-BM có vận tốc quay lớn hơn nên máy phát sẽ có kích thước nhỏ hơn và bản thân tuabin cũng sẽ nhỏ gọn hơn. Tuabin Φ82-BM có chiều cao hút H_S lớn, do vậy giảm được chiều sâu đặt máy, chi phí đầu tư cho công trình sẽ nhỏ hơn.

Như vậy muốn chọn tuabin Φ100-BM hay Φ82-BM cần phải giải một bài toán kinh tế tổng hợp. Còn nếu muốn chọn máy rẻ ta chọn tuabin Φ100-BM. Nếu chọn công trình rẻ ta chọn tuabin Φ82-BM.

6.9.3.2. Tuabin Kaplan

Tuabin Kaplan có thể làm việc trong điều kiện cột áp dao động lớn. Vì vậy tuabin sẽ được chọn theo điều kiện cột áp H_{min} nhưng phải đạt công suất N_{max} của tuabin.

Các thông số cho trước là: cột áp H = 11m, công suất N = 5000kW, cao trình lắp đặt tuabin $\nabla \approx 90$m.

Trên đồ thị vùng sử dụng tuabin (hình 6.22) điểm làm việc (tương ứng H và N) rơi vào vùng tuabin K90-ВБ.

Trên đồ thị vùng sử dụng của tuabin K90-ВБ (hình 6.29) điểm làm việc rơi vào vùng (hình bình hành) đường kính D = 300 cm và số vòng quay n = 167 vg/ph. Tại vùng hình bình hành này điểm làm việc nằm cách đường giới hạn phía trên khoảng 0,2 chiều cao của hình.

Theo đồ thị $h_S = f(H)$, h_S tại cột áp H = 11m có giá trị $h_S = 0 \div 2,5$m. Từ đó suy ra giá trị h_S tương ứng với điểm làm việc: $h_S = 0,2.2,5 = 0,5$m.

Tuabin sẽ có chiều cao hút bằng:

$$H_S = h_S - \frac{\nabla}{900} = 0,5 - 0,1 = 0,4\text{m}.$$

Để xác định khoảng cách từ mặt phẳng trung bình của cánh hướng tới mực nước dưới, ta xác định giá trị X theo kết cấu tuabin cho trên đồ thị:

$$X = 0,41.D = 0,41.3 = 1,23 \text{ m}.$$

Khi đó ta có:

$$H_S + X = 0,4 + 1,23\text{m} = 1,63 \text{ m}.$$

Theo biểu đồ hiệu suất gần đúng của các loại tuabin (hình 6.30) với đường kính 300cm của tuabin K90-BБ ta tìm được $\eta \approx 86,5\%$.

Lưu lượng tuabin sẽ có giá trị bằng:

$$Q = \frac{5000}{9,81.11.0,865} = 53,5.\text{m}^3/\text{s}$$

6.10. ỨNG DỤNG CỦA TUABIN NƯỚC

Tuabin nước được sử dụng chủ yếu để kéo máy phát điện nhằm cung cấp điện cho các hộ sử dụng. Ở các vùng miền núi, tuabin nước còn được sử dụng để làm quay trực tiếp máy bơm cấp nước sinh hoạt và tưới cây. Ngoài ra tuabin nước còn được sử dụng để chạy các máy công cụ khác: máy gia công cơ khí, máy xay sát, v.v...

6.10.1. Tuabin nước chạy máy phát điện

Tuabin được nối trực tiếp với máy phát điện hoặc gián tiếp thông qua các bộ truyền động. Công suất của máy phát điện sẽ được xác định theo công suất của tuabin, còn vòng quay máy phát được chọn theo số vòng quay đồng bộ.

6.10.1.1. Tuabin kéo trực tiếp máy phát

Công suất của máy phát được xác định bằng:

$$N_{MP} = N_{TB}\eta_{MP} \text{ (kW)}. \tag{6.46}$$

trong đó: N_{mP} là công suất máy phát (kW);

N_{TB} là công suất tuabin;

η_{MP} là hiệu suất máy phát.

Công suất tuabin $N_{TB} = 9,81QH\eta_{TB}$, nên ta có:

$$N_{MP} = 9,81.QH\eta_{TB}\eta_{MP} \text{ (kW)}. \tag{6.47}$$

Vòng quay của tuabin sẽ bằng vòng quay máy phát:

$$n_{TB} = n_{MP} \text{ vg/ph.}$$

6.10.1.2. Tuabin kéo máy phát qua bộ truyền

Công suất

$$N_{MP} = 9{,}81.QH\eta_{TB}\eta_{MP}\eta_{BT} \text{ (kW)}, \tag{6.48}$$

trong đó, η_{BT} là hiệu suất bộ truyền (có thể truyền đai hay hộp số).

Vòng quay của tuabin thường nhỏ hơn số vòng quay của máy phát và được xác định theo tỷ số truyền của bộ truyền đai hay hộp số cơ khí:

$$n_{TB} = \frac{n_{MP}}{i} = n_{MP}\left(\frac{n_{TB}}{n_{MP}}\right), \text{ vg/ph.} \tag{6.49}$$

trong đó:

$i = n_{MP}/n_{TB}$ là tỷ số của bộ truyền động ;

n_{MP} là số vòng quay của máy phát (vg/ph) ;

n_{TB} là số vòng quay của tuabin (vg/ph).

Máy phát điện có hai loại: máy phát 1 pha xoay chiều điện áp U = 220V và máy phát 3 pha xoay chiều điện áp 220V hay 380V. Loại máy phát có công suất trên 1000kW thường sử dụng điện cao áp U = 6,3kV.

Số vòng quay của máy phát được chọn theo số vòng quay đồng bộ:

$$n_{MP} = \frac{60f}{p}. \tag{6.50}$$

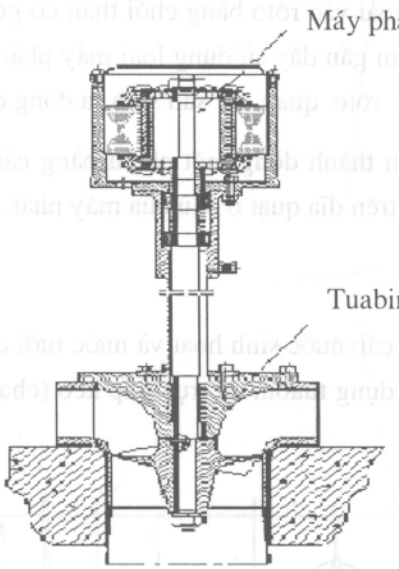
trong đó: f là tần số dòng điện (50 Hz);

p là số đôi cực.

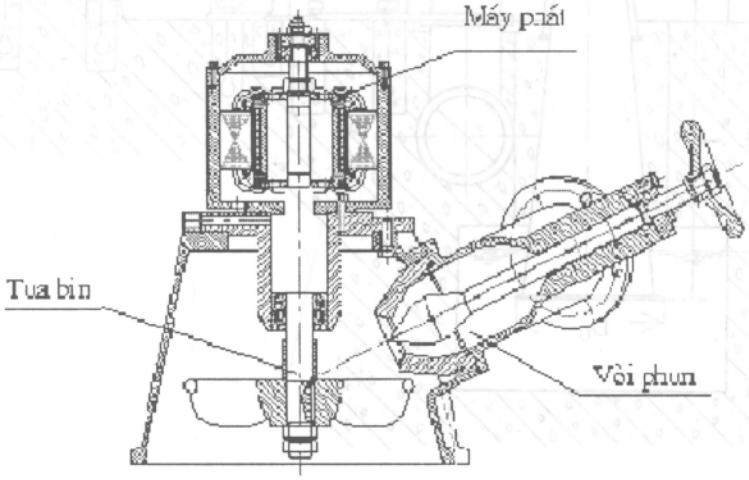
Để điều chỉnh công suất của máy phát điện phù hợp với sự thay đổi phụ tải thường sử dụng các bộ điều tốc: điều tốc cơ- thủy, điều tốc điện- thuỷ, điều tốc điện - điện tử và các bộ điều tốc tải giả. Giá thành các bộ điều tốc cơ- thủy, điều tốc điện- thuỷ, điều tốc điện- điện tử dùng cho các tổ máy thuỷ điện cực nhỏ khá cao so với giá thành các thiết bị động lực (tuabin và máy phát).

Vì vậy để điều chỉnh các tổ máy thuỷ điện cực nhỏ người ta thường sử dụng điều tốc tải giả. Các bộ điều tốc tải giả có giá thành thấp và vận hành đơn giản. Song có nhược điểm là tổ

máy luôn luôn làm việc với công suất tối đa, do vậy không tiết kiệm được năng lượng.



Hình 6.31- Sơ đồ tổ máy thuỷ điện cực nhỏ tuabin hướng trục buồng hở, máy phát có rôto bằng nam châm vĩnh cửu.



Hình 6.32- Sơ đồ tổ máy thuỷ điện cực nhỏ tuabin tia nghiêng, máy phát có rôto bằng nam châm vĩnh cửu.

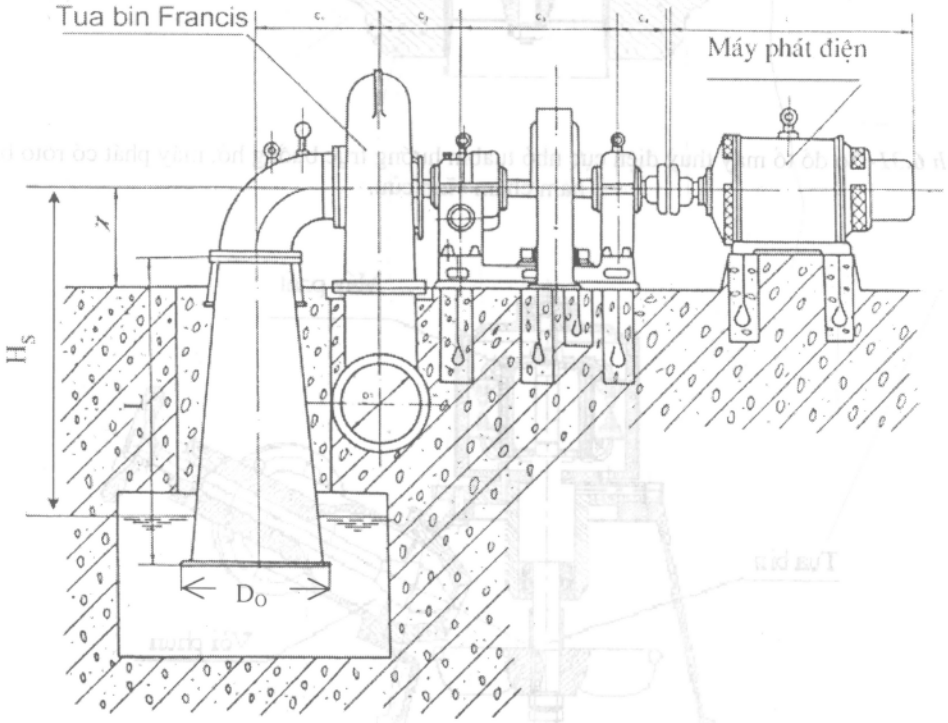
Máy phát cực nhỏ công suất từ 01 kW trở xuống, thường là máy 1 pha, rôto dùng nam châm vĩnh cửu (hình 5.31; 5.32). Do vậy kết cấu máy phát đơn giản và có hiệu suất tương đối cao. Hiệu suất máy phát loại này nằm trong giới hạn 0,7 đến 0,9.

Máy phát cực nhỏ công suất từ 1kW trở lên, thường dùng rôto dây cuốn và kích từ (hình 5.33), nghĩa là phải cung cấp cho rôto của máy phát dòng điện một chiều để tạo ra từ trường. Có thể đưa dòng điện một chiều từ ngoài vào rôto bằng chổi than cổ góp. Loại máy phát này gọi là máy phát kích từ ngoài. Những năm gần đây sử dụng loại máy phát tự kích không cần chổi than cổ góp. Ở loại máy phát này khi rôto quay sẽ sản sinh ra dòng điện xoay chiều (nhờ từ dư)

Dòng xoay chiều được nắn thành dòng một chiều bằng các điốt và được đưa vào kích rôto. Các đi ôt nắn dòng được gắn trên đĩa quạt ở đầu của máy phát.

6.10.2. Tuabin kéo bơm

Để phục vụ cho việc cung cấp nước sinh hoạt và nước tưới cho vùng sâu vùng xa, nơi có nguồn thuỷ năng nhỏ, người ta sử dụng tuabin để trực tiếp kéo (chạy) bơm. Tổ hợp như vậy gọi là bơm thủy luân.



Hình 6.33- Sơ đồ tổ máy thuỷ điện nhỏ tuabin trục ngang, máy phát rô to dây cuốn, kích từ ngoài.

Tuabin nước kéo bơm có hai loại:

Tuabin buồng hở cột nước thấp $H_T = 0,4 \div 4$m, cột áp bơm đạt được từ 2m ÷ 24m.

Tuabin buồng kín cột áp tuabin từ 2m trở lên, cột áp của bơm từ 7m đến hàng trăm mét.

Tuabin buồng hở thường là tuabin hướng trục (Kaplan), được nối trực tiếp với máy bơm. Máy bơm được sử dụng có thể là bơm ly tâm 1 cấp hay nhiều cấp. Trên hình 6.34 là kết cấu của tổ máy bơm thuỷ luân dạng này.

Tuabin buồng kín có thể nối trực tiếp hay gián tiếp với máy bơm qua bộ truyền đai hay hộp số. Bơm sử dụng có thể là bơm ly tâm một cấp hay nhiều cấp. Bơm thường có lưu lượng nhỏ và cột áp cao. Có thể sử dụng bơm xoáy thay cho bơm ly tâm. Trường hợp bơm nước sạch cho sinh hoạt có thể dùng bơm piston.

Điều kiện làm việc của tổ hợp tuabin - bơm là sự cân bằng năng lượng:

$$N_T = N_B,$$

Hay

$$Q_{TB}H_{TB}\eta_{TB} = \frac{Q_B H_B}{\eta_B}. \qquad (6.51)$$

trong đó: $Q_{TB}, H_{TB}, \eta_{TB}$ là lưu lượng, cột áp, và hiệu suất của tuabin ;

Q_B, H_B, η_B là lưu lượng, cột áp, và hiệu suất của bơm.

Trường hợp nối gián tiếp qua bộ truyền

$$Q_{TB}H_{TB}\eta_{TB} = \frac{Q_B H_B}{\eta_B \eta_{BT}}. \qquad (6.52)$$

trong đó η_{BT} là hiệu suất bộ truyền.

Tỷ số cột nước của bơm và tuabin ta ký hiệu là i_H:

$$i_H = \frac{H_B}{H_T}. \qquad (6.53)$$

Trong tổ máy thuỷ luân thường chọn cột áp bơm H_B lớn hơn cột áp tuabin H_T khoảng 4 lần. Như vậy, ứng với 1m cột nước của tuabin thì cột áp của bơm sẽ là 4m.

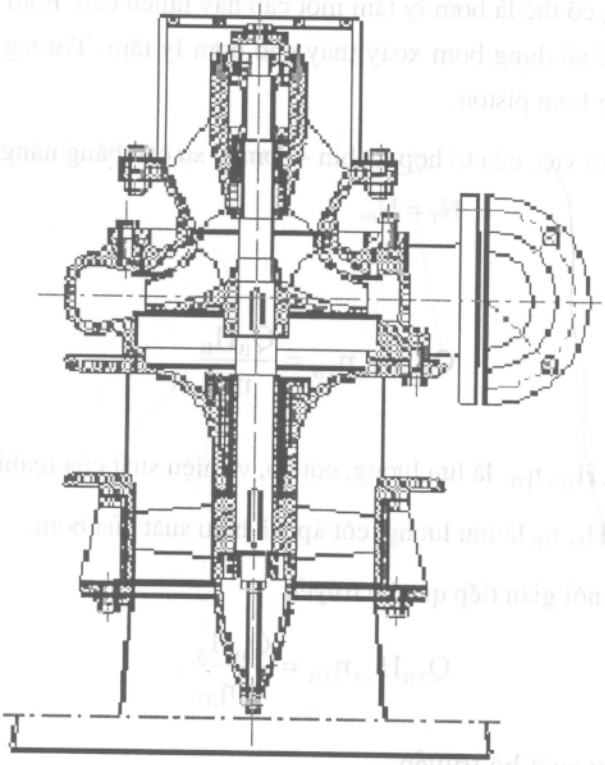
Tỷ số lưu lượng của bơm và tuabin ký hiệu là i_Q:

$$i_Q = \frac{Q_B}{Q_T}. \qquad (6.54)$$

Lưu lượng của bơm nhỏ hơn lưu lượng qua tuabin với số lần bằng tỷ số cột nước i_H. Thông thường đối với tuabin hướng trục kéo bơm ly tâm 1 cấp thì tỷ số cột áp khoảng dưới 6 lần.

Để tăng tỷ số cột áp của bơm thì dùng bơm nhiều cấp hoặc tăng số vòng quay qua bộ truyền để kéo bơm ly tâm.

Trong trường hợp dùng tuabin buồng kín cũng có thể tăng tỷ số cột áp của bơm.



Hình 6.34- Sơ đồ máy bơm nước thuỷ luân.

Chương 7

NĂNG LƯỢNG GIÓ VÀ ỨNG DỤNG

7.1. KHÁI NIỆM CƠ BẢN VỀ NĂNG LƯỢNG GIÓ

7.1.1. Các đặc trưng cơ bản về gió

Gió là sự chuyển dịch tuần hoàn của không khí trong khí quyển gây ra do sự nung nóng không đều bề mặt Trái Đất bởi Mặt Trời. Trong những điều kiện thuận lợi nhất định có thể sử dụng nguồn năng lượng này phục vụ nền kinh tế quốc dân. Các trạm năng lượng gió thường sử dụng gió trên độ cao tới (20 - 70)m so với bề mặt Trái Đất. Vì vậy chúng ta sẽ xem xét đặc tính của gió ở lớp khí quyển này.

Trên các độ cao lớn (8 - 12)km gọi là tầng đối lưu, có gió thường xuyên hơn và gọi là dòng chảy luồng (hay luồng khí). Gió loại này có vận tốc lớn (25 - 80m/s). Tiềm năng năng lượng của chúng lớn hơn nhiều. Đặc tính gió ở tầng này khác nhiều so với đặc tính gió trên mặt đất. Song sử dụng gió ở độ cao này gặp phải một khó khăn rất lớn về mặt kỹ thuật khi chuyển tải điện từ độ cao lớn tới mặt đất.

Gió, có thể nói đó là một quá trình địa vật lý rất phức tạp, vì vậy chỉ có thể dự báo sự biến đổi với xác suất nhất định.

Đặc tính quan trọng nhất đánh giá động năng của gió là vận tốc. Dưới ảnh hưởng của hàng loạt các yếu tố khí tượng (sự nhiễu loạn khí quyển, sự thay đổi tác động của Mặt Trời và lượng năng lượng nhiệt truyền tới mặt đất...), đồng thời các điều kiện địa hình tại chỗ, tốc độ gió thay đổi cả về giá trị và hướng. Hướng véc tơ vận tốc cho thấy vị trí tính theo góc của nó ứng với hướng được lấy làm gốc tính toán (thường là hướng Bắc).

Để đo vận tốc gió tức thời người ta sử dụng máy đo gió Vindơ hoặc phong tốc kế (máy đo gió quán tính nhỏ).

Để đo vận tốc gió trung bình trong khoảng thời gian dài (vài chục giây hay vài phút), người ta sử dụng máy đo gió các dạng khác nhau, chúng có đồng hồ chỉ thị và bộ phận ghi chép đảm bảo lưu trữ vận tốc gió trên băng.

Sai số đo vận tốc gió bằng phong tốc kế có thể đạt tới 5 - 7%, vì vậy nếu đòi hỏi độ chính xác lớn, ví dụ khi thí nghiệm động cơ gió và mô hình của chúng trong ống khí động, người ta sử dụng ống pitô nối với áp kế vi lượng.

Trong khi vận tốc tức thời của gió có tác động đáng kể tới động cơ gió và ảnh hưởng tới hệ thống điều chỉnh tự động thì việc sản sinh ra năng lượng lại phụ thuộc trước hết vào vận tốc gió trung bình theo thời gian và diện tích bề mặt bánh công tác động cơ gió (gọi tắt là bánh công tác gió) chiếm chỗ khi quay.

Vận tốc gió trung bình theo thời gian được xác định bằng tỷ số của tổng các giá trị vận tốc gió tức thời đo được V_i với số lần đo n trong khoảng thời gian đo:

$$V = \frac{\sum V_i}{n}, \text{ m/s}, \qquad (7.1)$$

Tương tự thì vận tốc gió trung bình ngày được xác định bằng tỷ lệ tổng vận tốc gió trung bình giờ với thời gian 24 giờ trong ngày. Còn tốc độ gió trung bình năm:

$$\bar{V}_{năm} = \frac{\sum V_{ngày}}{365}, \text{ m/s}, \qquad (7.2)$$

Tốc độ gió trung bình ở một vùng nhất định được xác định từ các số liệu theo dõi của các trạm khí tượng hoặc của các máy thám không đặc biệt. Ở phần lớn các trạm khí tượng chỉ số các thiết bị đo vận tốc gió được ghi 6 lần trong một ngày đêm qua 4 giờ mỗi lần. Các chỉ số này cho khả năng nhận được các dữ liệu tương đối chính xác về tốc độ gió trung bình theo chu kỳ. Khi đó sự sai lệch với các số liệu tính vận tốc gió trung bình theo giờ không quá 1%.

Tuy nhiên chỉ số của các máy đo gió còn chịu ảnh hưởng của điều kiện địa hình vĩ mô và vi mô của vùng xung quanh, mức độ che khuất của trạm khí tượng. Điều đó cần chú ý khi tính chuyển đổi vận tốc gió đối với mỗi vùng cụ thể, thậm chí khi nó nằm gần trạm khí tượng.

Vận tốc gió trung bình thay đổi đáng kể trong các thời gian khác nhau trong ngày, trong các tháng và các mùa. Do vậy người ta phân biệt diễn biến vận tốc theo ngày, tháng, mùa đặc trưng cho xu hướng chung thay đổi vận tốc trong các chu kỳ thời gian kể trên.

Giá trị giới hạn của vận tốc gió, các số liệu về cường độ gió và cấu trúc vi mô của dòng khí trong một khoảng thời gian tương đối ngắn là các đặc tính trạng thái quan trọng cần phải biết khi tính bền tổ máy cũng như khi thiết kế thiết bị tự động điều chỉnh, định hướng...

Mạch động vận tốc gió và năng lượng dòng khí gây nên bởi đặc tính hình thành cấu trúc của gió, các đặc điểm địa phương và ảnh hưởng của các điều kiện cảnh quan và địa hình. Đặc tính này có ý nghĩa rất quan trọng bởi vì nó thường là nguyên nhân gây hư hỏng tổ máy. Đặc

tính mạch động vận tốc gió được đánh giá bởi gia tốc của dòng khí, độ kéo dài của cơn gió và sự trùng hợp của các cơn gió ở những điểm khác nhau của bề mặt chứa bánh công tác động cơ gió và hệ số gió giật $K_{giật}$. Hệ số $K_{giật}$ là tỷ số giữa vận tốc gió cực đại V_{max} với vận tốc gió trung bình $\overline{V}$ trong một khoảng thời gian (thường không quá 2 phút):

$$K_{giật} = V_{max} / V \tag{7.3}$$

Việc nghiên cứu sự biến đổi của vận tốc gió sẽ thuận lợi hơn nhờ sự phân tích tổng hợp tính quy luật và sự biến đổi ngẫu nhiên cường độ gió trong một khoảng thời gian chọn trước cũng như trên một diện tích (không gian) hữu hạn. Thông thường ở các trạm khí tượng vận tốc gió trung bình được xác định trong khoảng thời gian không dưới 2 phút.

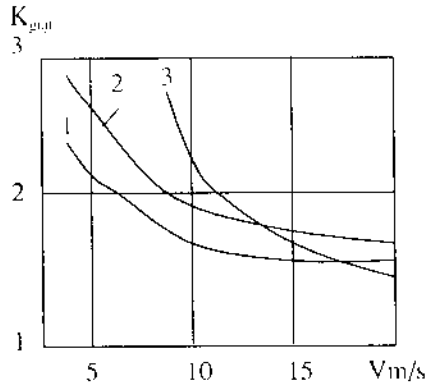
Khi đánh giá xác suất F(V) ta thấy rằng, vận tốc tức thời của gió có thể lớn hơn vận tốc trung bình đo được. Ta hãy tìm vận tốc tính toán với tiêu chuẩn đảm bảo cho trước:

$$F(V) = e^{-\left(\frac{v}{\beta}\right)^{\gamma'}} \tag{7.4}$$

trong đó, β và γ' là các thông số phụ thuộc vào trạng thái gió và đối với các trạm khí tượng thông thường có giá trị tương ứng bằng 1,3 – 1,5 và 5 – 6,5.

Hệ số gió giật là hàm của một loạt các yếu tố và đối với các vùng địa lý khác nhau, đặc tính của nó thay đổi trong giới hạn lớn. Các công trình nghiên cứu đã cho thấy rằng, vận tốc gió càng lớn thì giá trị giật càng nhỏ, mặc dù khi đó sai lệch tuyệt đối của vận tốc so với giá trị trung bình tăng lên.

Sự thay đổi của hệ số giật $K_{giật}$ cho trên hình 7.1 đặc trưng cho mức độ giật của dòng không khí với diện tích tiết diện không lớn và bằng diện tích chiếm chỗ của máy đo gió kiểu cánh.



Hình 7.1 - Hệ số giật của vận tốc gió:
1. theo số liệu của G. Xaviski;
2. theo số liệu của V. Bolsakov;
3. theo số liệu Sephter IA. I.

Từ đồ thị hình 7.1 đường cong 2 ta thấy hệ số $K_{giật}$ có giá trị khá lớn. Việc ghi đồng thời vận tốc gió bằng máy đo gió đặt trong mặt phẳng vuông góc với hướng chính của dòng (hình 7.2) cho thấy, độ giật vận tốc nói chung có đặc tính hỗn loạn và ở những điểm khác nhau không trùng nhau về giá trị và hướng. Vì vậy cường độ chung của gió giật theo tiết diện giảm so với độ giật của dòng tiết diện ngang nhỏ. Cường độ giật càng giảm nhiều khi diện tích tiết

diện càng lớn. Diễn biến tốc độ gió theo ngày ở các điểm nằm cách nhau vài km cho thấy, thậm chí vận tốc gió trung bình theo giờ cũng rất khác nhau. Cường độ gió giật trung bình trong khoảng thời gian T có thể đánh giá bằng biểu thức:

$$V^2(t) = \lim_{T \to \infty} \int_0^T \left[\overline{V}(t)\right]^2 dt. \qquad (7.5)$$

trong đó, V - Vận tốc dòng khi gió giật lấy trung bình ở thời điểm cho trước theo các số liệu đo của một số máy đo.

Khảo sát các đặc tính biến thiên vận tốc gió cho phép đánh giá về sự thay đổi vận tốc gió theo độ cao của lớp khí quyển gần mặt đất chiều dầy tới 300m và đánh giá prôphin vận tốc gió theo độ cao. Ảnh hưởng của bề mặt Trái Đất tới vận tốc và hướng dòng không khí giảm dần theo độ cao (khoảng cách từ mặt đất). Bởi vậy vận tốc gió trên các độ cao lớn thường tăng, còn độ giật của nó và gia tốc dòng khí sẽ giảm. Gradien vận tốc mùa Hè theo quy luật sẽ nhỏ hơn so với mùa Đông, đó là do đặc tính thay đổi khác nhau của sự chênh nhiệt độ trong mùa Đông và mùa Hè.

Các kết quả nghiên cứu trực tiếp trong nhiều vùng ở các độ cao khác nhau cho thấy rằng, ở trạng thái đoạn nhiệt của khí quyển, prôphin vận tốc gió theo chiều cao tiệm cận tốt quan hệ dạng:

$$V = V_1\left(\frac{h}{h_1}\right)^{1/5}; \qquad (7.6)$$

hay

$$V = V_1 \frac{\lg(h/h_0)}{\lg(h_1/h_0)}, \qquad (7.7)$$

trong đó, V - vận tốc gió cần tìm trên độ cao h;

V_1 - vận tốc gió đo được gần mặt đất trên độ cao h_1;

h_0 - chiều cao ở đó vận tốc gió bằng không.

Chiều cao h_0 thường xem như mức đo độ nhám lớp lót bề mặt và lấy bằng 3,2cm đối với bề mặt được phủ bởi lớp cỏ thấp, 5-7cm đối với bề mặt phủ lớp cỏ cao hơn. Giá trị cực đại của h_0: h_0 = 20cm.

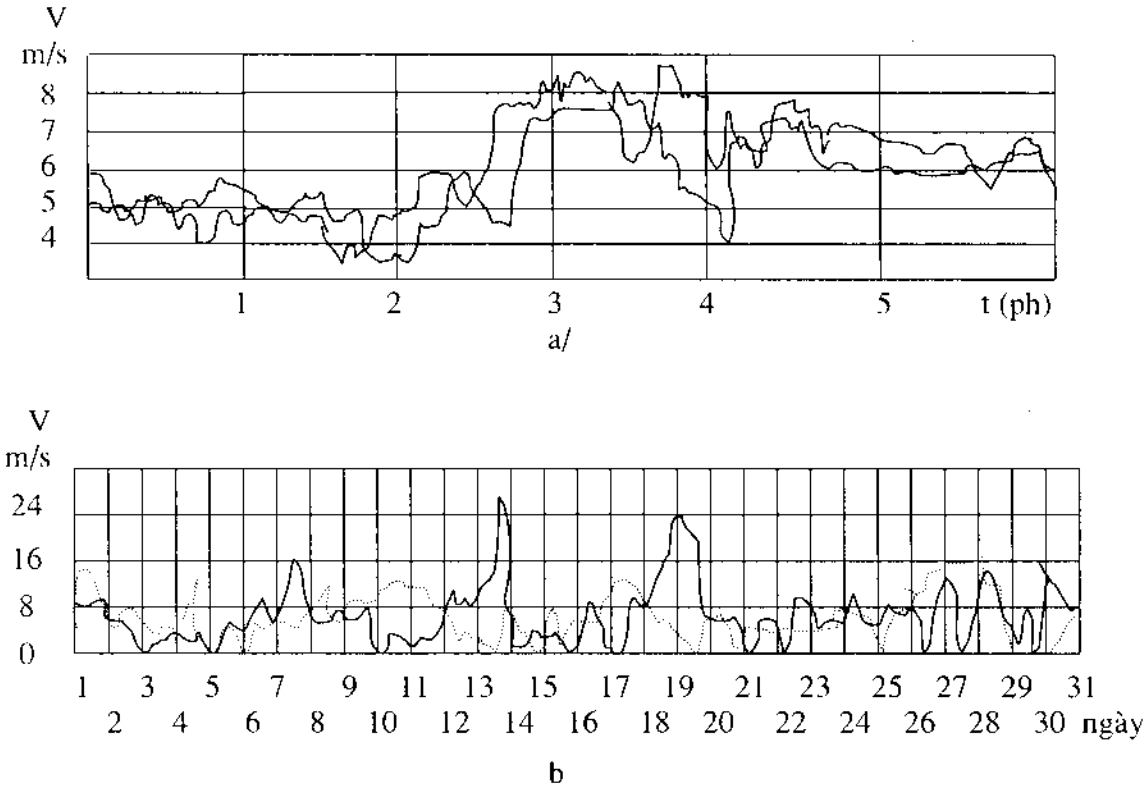
Hướng gió thường đóng vai trò ít quan trọng hơn khi sử dụng năng lượng gió. Tuy nhiên trong những điều kiện cảnh quan khác nhau, gió với các hướng khác nhau có các đặc điểm đặc trưng: vận tốc và gió giật lớn hơn hoặc nhỏ hơn. Sự lặp lại của chúng xác định theo biểu đồ gió.

Biểu đồ cho thấy, số phần trăm của thời gian có hướng cho trước.

Gradien vận tốc theo góc có ảnh hưởng đáng kể tới sự làm việc của các cơ cấu điều chỉnh hướng tự động và trọng lượng con quay. Gió giật gây nên bởi cấu trúc rối của dòng chảy ảnh hưởng tới sự làm việc của các hệ thống điều chỉnh tự động tần số quay và giới hạn công suất của bánh công tác gió và đồng thời ảnh hưởng tới sự ổn định của hệ thống.

Năng lượng E của dòng khí có tiết diện ngang với diện tích F được xác định theo biểu thức:

$$E = \frac{mV^2}{2}, \ J \qquad (7.8)$$



Hình 7.2- Biến thiên vận tốc gió tại hai điểm ghi đồng thời bằng 2 máy đo gió: a. hai máy đo gió đặt cách nhau 20m; b. diễn biến vận tốc gió theo ngày tại các điểm cách nhau một vài km.

Khối lượng không khí chảy qua tiết diện F trong 1 giây với với vận tốc V bằng:

$$m = \rho FV, \ kg/s.$$

Thay vào biểu thức trên ta được:

$$E = \frac{\rho V^3 F}{2}, \quad J/s. \qquad (7.9)$$

trong đó, ρ - khối lượng riêng của không khí, trong điều kiện thường (T = 15°C, p = 760 mmHg) $\rho = 1{,}23\ kg/m^3$.

Như vậy, năng lượng gió thay đổi tỷ lệ bậc 3 với vận tốc. Bánh công tác gió có thể biến đổi một phần năng lượng này thành năng lượng hữu ích và được đánh giá bằng hệ số sử dụng năng lượng gió.

7.1.2. Đặc trưng năng lượng gió

Đặc trưng năng lượng gió - đó là tập hợp các dữ liệu cần thiết và đủ độ tin cậy đặc trưng cho gió như là một nguồn năng lượng và cho phép làm rõ giá trị năng lượng của nó. Đó cũng là một hệ thống các dữ liệu đặc trưng cho chế độ gió ở các vùng khác nhau, trên cơ sở đó có thể tính toán các chế độ và thời gian làm việc của tổ máy với công suất này hoặc khác, và năng lượng tổng cộng có thể khai thác được.

Đặc tính đặc trưng quan trọng nhất là mật độ phân bố các vận tốc gió khác nhau, diễn biến các chu kỳ làm việc và sự lặng gió, các chế độ vận tốc cực đại (bão). Các giá trị vận tốc gió trung bình năm và trung bình mùa cũng là những đặc trưng quan trọng và thuận lợi để đánh giá tiềm năng năng lượng gió.

Đặc tính quan trọng hơn cần phải kể đến là hàm của quy luật thống kê tần số biến đổi vận tốc gió trong khoảng thời gian xác định. Khi biết quy luật xác định và thông số của hàm này và khi có các đặc tính của các tổ máy năng lượng gió, có thể đánh giá được năng lượng sản ra, thời gian dừng làm việc, hệ số sử dụng, công suất lắp đặt, hiệu quả kinh tế...

G.A. Grinhevich đã đưa ra phương trình đường cong phân bố các đại lượng đặc trưng đối với nhiều vùng như sau:

$$y = \alpha_1 x^p e^{-kx^n}, \qquad (7.10)$$

trong đó y, x – các biến số;

α_1, p, k, n – các hệ số phụ thuộc vào loại đường cong.

Trên cơ sở phương trình này khi chuyển sang các giá trị tuyệt đối của vận tốc gió và độ lặp của chúng tính theo tỷ lệ thời gian của chu kỳ, ta nhận được:

$$f = \frac{\Delta V}{V}\alpha_1\left(\frac{V}{\overline{V}}\right)^p e^{-k\left(\frac{V}{\overline{V}}\right)^n} \qquad (7.11)$$

với: f - tần số hay độ lặp của vận tốc V;

V - vận tốc trung bình trong chu kỳ tính toán ;

V - vận tốc mà độ lặp tương đối của nó xác định trong khoảng từ ;

$(V - \Delta V/2)$ tới $(V + \Delta V/2)$;

ΔV - khoảng gradien vận tốc được chọn.

Đối với một số vùng với giá trị vận tốc trung bình $\overline{V}_{năm}$ và $\overline{V}_{mùa}$ tương đối cao (6÷7m/s) các kết quả định hình hoá các chế độ làm việc của gió thoả mãn các yêu cầu thực tế được xác định bằng các quan hệ rút ra từ phương trình của R. D. Gudrich dưới dạng vi phân sau:

$$y = knx^{n-1}e^{-kx^n}. \qquad (7.12)$$

N. V. Kolodinưi đã dùng phương trình này để làm đều phân bố vận tốc theo kinh nghiệm. Khi biết các thông số a và k của phương trình

$$f_{v_i} = \frac{\Delta V}{V_i}\left(\frac{V_i}{\overline{V}}\right)^{a-1} e^{-k\left(\frac{v_i}{\overline{V}}\right)^a}$$

ta dễ dàng tính được, bao nhiêu giờ trong một năm (trong mùa) sẽ lặp lại gió với vận tốc cần tìm.

Các số liệu này thường được cho dưới dạng bảng và đồ thị. Trong đó theo nguyên tắc, độ lặp ứng với chiều cao tại đó đặt máy đo gió (thường là 12 - 15m).

Chiều cao đặt tâm bánh công tác gió h_{bct} so với mặt đất có thể là bất kỳ. Để xác định độ lặp của vận tốc trên độ cao h_{bct} cần sử dụng công thức tính chuyển đổi:

$$f_{vh_{bct}} = f_{v15}\frac{h_{bct}}{h_{15}} = k_{th_{bct}} f_{v15}, \text{ giờ}, \qquad (7.13)$$

trong đó:

f_{v15} - độ lặp vận tốc V trên độ cao 15m ;

$k_{th_{bct}}$ - hệ số tính chuyển đổi độ lặp vận tốc gió phụ thuộc vào chiều cao tính toán có giá trị như sau:

h_{bet}, m	15	10	7	5	4
$k_{th_{bet}}$	1,0	0,933	0,875	0,82	0,785

Các số liệu về đặc tính gió thường mang đặc tính tích phân và vì thực tế ngày càng đòi hỏi thiết lập quy luật biến đổi niên đại chế độ gió nên xuất hiện nhiệm vụ mô hình hoá các chế độ như vậy.

Trong lĩnh vực năng lượng gió, mô hình toán có ý nghĩa quan trọng để đánh giá dung lượng thiết bị ácquy, dự trữ công suất và đồng thời các biểu đồ cung cấp năng lượng của tổ máy vì rằng không thể tích trữ năng lượng gió cho tới khi nó thực hiện được công hữu ích. Nói cách khác động cơ gió không có ácquy chỉ có thể làm việc theo biểu đồ không điều khiển.

Chế độ gió biến đổi theo niên đại - đó là quá trình ngẫu nhiên có quy luật phức tạp. Do lý thuyết toán học các quá trình như vậy chưa được xây dựng hoàn thiện nên phải có hàng loạt các giả thiết đơn giản hoá. Điều này càng cần thiết do quá trình biến đổi V(t) trong thời gian dài không thể coi là ổn định. Trong khi đó trong thời gian ngắn vài phút có thể xem nó như ổn định.

Theo các số liệu của Garman, để đánh giá V_{max} có thể sử dụng hàm:

$$\Phi_1 = \alpha_2 \left[\frac{V}{M(V)}\right]^p e^{-k_2\left[\frac{v}{M(v)}\right]^n}, \qquad (7.14)$$

trong đó: p - độ đảm bảo;

α_2, k_2, n - đặc tính thống kê của quá trình;

M(V) - hàm giá trị trung bình của vận tốc.

Có thể diễn giải quá trình V(t) như là tập hợp của một số quá trình, một trong số đó có đặc tính chu kỳ. Giá trị trung bình của vận tốc được xác định bằng:

$$\bar{V}_{v_i} = \frac{\sum_{i=1}^{n} V_i}{n}, \qquad (7.15)$$

Sai số vận tốc ứng với giá trị trung bình:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(V_i - \bar{V}_{v_i}\right)^2}{n-1}, \qquad (7.16)$$

Từ việc khảo sát mối quan hệ giữa các giá trị vận tốc trước và sau phân bố liên tục theo khoảng thời gian tăng lên của một trạm khí tượng cho thấy hệ số tương quan bằng:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n-m} \left[\left(V_i - \overline{V_{V_t}} \right) \left(V_{i+1} - \overline{V_{V_{i+t}}} \right) \right]}{(n - m_i)\sigma_{V_i}\sigma_{V_{i+t}}} \qquad (7.17)$$

r = 0,6 ÷ 0,65 với t = 6 giờ và r = 0,22 với t = 18 giờ; m_i- hệ số lặp.

Đối với các tháng riêng biệt giá trị ‚r' đạt lớn nhất (tới 0,76) vào các giờ ban ngày. Sự tương quan hầu như tắt dần hoàn toàn trong thời gian một ngày (t = 24 giờ).

Các số liệu tương tự có thể sử dụng để xây dựng sự tiệm cận hình học và toán học quá trình biến đổi V(t) tính tới việc chồng chất các biến đổi ngẫu nhiên lên khuynh hướng có quy luật của diễn biến niên đại của vận tốc.

Trong năm hoặc mùa quá trình biến đổi V(t) không ổn định, nhưng sai lệch của nó so với giá trị trung bình có thể ổn định và khi đó có thể khảo sát nó như là quá trình dễ thay đổi.

Khi đó trong một chu kỳ dài so sánh với chu kỳ sản sinh năng lượng có thể viết:

$$V(t) = f(t) + q(t)\xi_v(t). \qquad (7.18)$$

trong đó:

f(t) - diễn biến khí hậu của vận tốc V, gây nên bởi sự quay hàng năm của Quả Đất xung quanh Mặt Trời và sự biến đổi theo mùa của sự tuần hoàn khí quyển;

q(t) - diễn biến ngày của vận tốc, gây nên bởi sự thay đổi điều kiện rối của khí quyển;

ξV(t) - sự thăng giáng diễn biến ngày của vận tốc gây nên bởi cấu trúc rối của dòng khí.

7.1.3. Năng lượng gió

Dòng không khí chuyển động giống như bất kỳ một vật thể chuyển động nào khác đều có một động năng. Một trong các dạng sử dụng động năng là biến nó thành cơ năng.

Động năng của vật thể bất kỳ kể cả năng lượng gió được xác định bằng biểu thức:

$$\frac{mV^2}{2}, \text{ Nm/s.} \qquad (7.19)$$

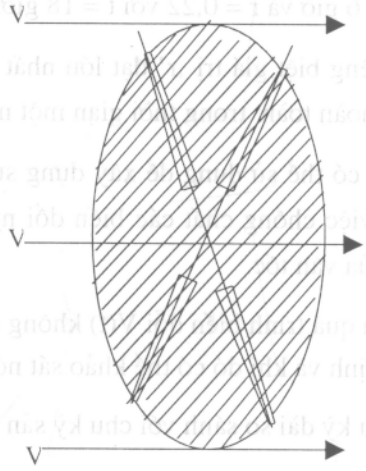
với: m - khối lượng vật thể chuyển động;

V - vận tốc chuyển động.

Năng lượng của dòng khí chuyển động với vận tốc V qua tiết diện ngang F được xác định như sau.

Thể tích không khí chuyển động với vận tốc V qua tiết diện F trong 1 giây bằng:

$$V_k = VF, \ m^3/s.$$



Hình 7.3- Bề mặt cánh bánh công tác động cơ gió chiếm chỗ khi quay.

Thể tích này nhân với trọng lượng riêng γ của không khí ta nhận được lưu lượng trọng lượng của không khí:

$$G = \gamma VF, \ N/s.$$

Lưu lượng khối lượng của không khí bằng:

$$m = \frac{G}{g} = \frac{\gamma VF}{g}, \ Ns/m.$$

Biểu thức γ/g gọi là khối lượng riêng hay mật độ không khí ký hiệu là ρ (kNs^2/m^4). Thay giá trị $\gamma/g = \rho$ vào biểu thức tính lưu lượng khối lượng ta được:

$$m = \rho VF, \ Ns/m.$$

Thay giá trị của m vào biểu thức (6.19) ta được:

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{\rho FVV^2}{2} = \frac{\rho V^3 F}{2}. \ (Nm/s = W) \qquad (7.20)$$

Biểu thức này xác định năng lượng gió qua tiết diện F trong 1 giây. Cần nhấn mạnh rằng, năng lượng gió tỷ lệ bậc 3 với vận tốc gió và tỷ lệ bậc nhất với diện tích F.

Động cơ gió chỉ biến đổi một phần năng lượng này thành cơ năng và được xác định bằng

hệ số sử dụng năng lượng gió ký hiệu là ξ. Bởi vậy động cơ gió có tiết diện F (hình 7.3) sẽ sản ra công trong 1 giây bằng:

$$T = \frac{\rho V^3 F \xi}{2}, \quad (J/s) \qquad (7.21)$$

Hệ số sử dụng năng lượng gió ξ là tỷ số giữa công động cơ gió thực hiện được trong 1 giây với năng lượng dòng khí chảy qua tiết diện có diện tích bằng diện tích bề mặt cánh bánh công tác gió chiếm chỗ khi quay trong 1 giây.

Đặc tính ưu việt của gió là một nguồn năng lượng có ở mọi nơi. Song việc ứng dụng năng lượng gió trong các quá trình sản xuất là hết sức khó khăn. Mật độ không khí nhỏ hơn 800 lần so với mật độ nước, bởi vậy để nhận được công suất lớn cần phải có động cơ gió kích thước rất lớn. Chẳng hạn để nhận được công suất 100 mã lực (73,6kW) với vận tốc gió 8 m/s động cơ gió cần phải có bánh công tác đường kính tới 30m.

Thêm vào đó, năng lượng gió không ổn định theo thời gian. Điều đó gây khó khăn cho việc sử dụng rộng rãi năng lượng gió trong công nghiệp và giao thông.

7.2. LÝ THUYẾT ĐỘNG CƠ GIÓ

7.2.1 Các loại động cơ gió

Động cơ gió biến đổi năng lượng gió thành cơ năng. Bộ phận chính của động cơ gió là bánh công tác gió. Theo kết cấu bánh công tác gió và vị trí của nó trong dòng khí, động cơ gió được phân làm 3 loại.

7.2.1.1. Động cơ gió loại cánh dạng khí động

Động cơ gió loại cánh khí động có 2 loại: loại ít cánh (quay nhanh) với số cánh từ 1 đến 4 và loại nhiều cánh (quay chậm) với số cánh tới 24. Hệ số sử dụng năng lượng gió của loại động cơ gió này có giá trị trong khoảng 0,3 - 0,42.

7.2.1.2. Động cơ gió loại rôto cánh phẳng trục đứng

Loại này có bánh công tác trục đứng với các lá cánh phẳng chuyển động theo hướng gió (hình 7.4.b). Trong cùng một thời điểm chỉ có một phần các lá cánh nằm về một phía của trục quay làm việc, chuyển động trùng với hướng gió. Các lá cánh nằm ở phía ngược lại ở thời điểm này chuyển động ngược hướng gió. Để giảm lực cản của các lá cánh không làm việc người ta sử dụng tấm chắn A để che gió. Tấm A được tạo dáng cần thiết để tạo điều kiện cho dòng khí chảy bao tốt.

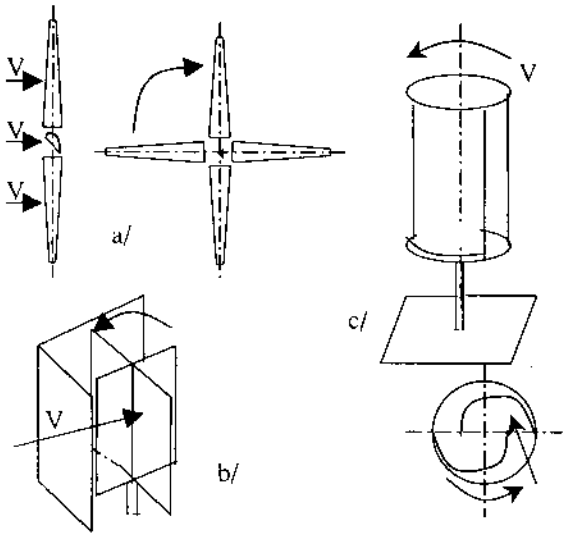
Do độ chênh áp về 2 phía trục quay của bánh công tác xuất hiện mômen làm quay bánh công tác.

Loại động cơ gió này có hai nhược điểm cơ bản:

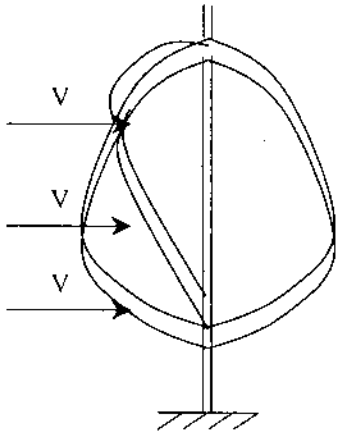
Cánh của bánh công tác chuyển động theo hướng gió gây ra sự chậm trễ của động cơ gió này, vì rằng các lá cánh không thể chuyển động nhanh hơn tốc độ gió. Tỷ số vận tốc vòng điểm mút cánh so với vận tốc gió không vượt quá 0,5. Do vậy động cơ gió có trọng lượng riêng (tỷ trọng) lớn.

Bề mặt chiếm chỗ của bánh công tác động cơ gió loại rôto cánh phẳng trục đứng gần như bị che hoàn toàn. Trong khi đó ở các động cơ gió loại cánh khí động (động cơ gió ít cánh - loại quay nhanh) bề mặt này chỉ chiếm chỗ 5 - 10%. Bởi vậy động cơ gió quay nhanh có tỷ trọng nhỏ.

Hệ số sử dụng năng lượng gió của động cơ rôto cánh phẳng trục đứng rất nhỏ (0,1 - 0,18).



Hình 7.4- Các loại động cơ gió:
a. loại cánh khí động; b. loại rôto cánh phẳng trục đứng;
c. loại rôto cánh tròn trục đứng (động cơ gió Savonius).



Hình 7.5- Động cơ gió trục đứng Darriuer.

7.2.1.3. Động cơ gió loại rôto cánh tròn trục đứng (động cơ gió Savonius)

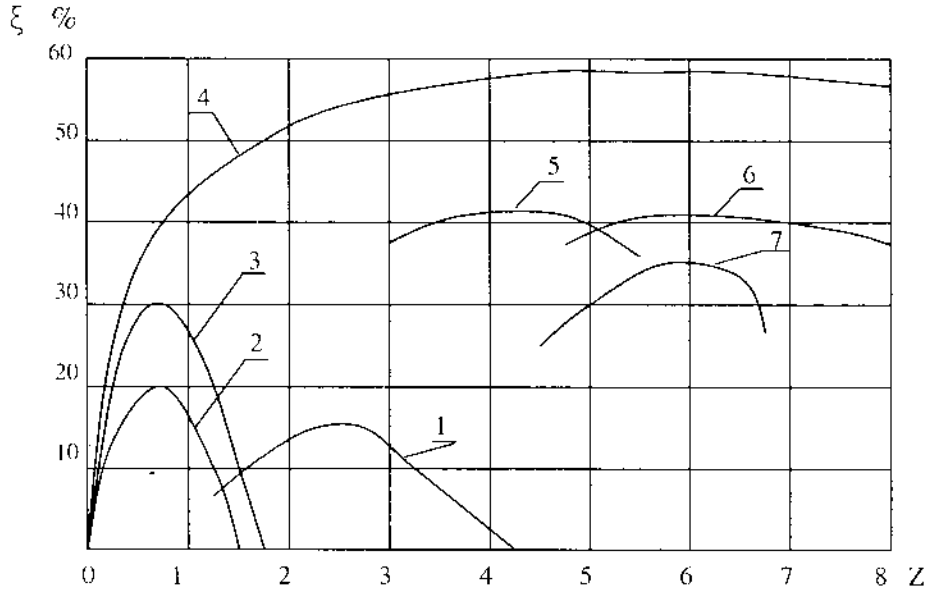
Động cơ gió loại này do một kỹ sư người Phần Lan là J. Savonius sáng chế năm 1920. Động cơ được cấu tạo bởi 2 nửa hình trụ (như một thùng phuy bổ đôi) ghép so le với nhau và quay quanh trục thẳng đứng. Kiểu này có kết cấu đơn giản dễ chế tạo, nhưng tốc độ chậm (độ

cao tốc Z = 0,9 – 1,0), tỷ trọng lớn. Mômen khởi động của động cơ lớn nhưng hiệu suất thấp - chỉ bằng 18%. Có thể dùng động cơ gió kiểu này để chạy bơm nước hoặc quay máy phát điện tốc độ thấp.

7.2.1.4. Động cơ gió trục đứng Darrieus

Động cơ gió loại này do một kỹ sư người Pháp là Darrieus sáng chế năm 1925 với 2 dạng cánh thẳng và cong (hình 7.5). Loại động cơ gió này hiện đang được đặc biệt quan tâm nghiên cứu ở Pháp và Canada. Ưu điểm nổi bật của động cơ gió Darrieus là kết cấu gọn nhẹ, với cánh có biên dạng khí động học nên có hiệu suất khá cao - khoảng 35% (thấp hơn động cơ gió cánh khí động loại ít cánh nhưng cao hơn loại nhiều cánh). Động cơ gió loại này vẫn đang trong giai đoạn nghiên cứu để hoàn thiện nên chưa được ứng dụng rộng rãi bằng loại động cơ gió cánh khí động.

Trên hình 7.6 giới thiệu đồ thị so sánh hiệu suất sử dụng năng lượng gió của các loại động cơ gió nói trên.



Hình 7.6- Hiệu suất sử dụng năng lượng gió của một số loại động cơ gió:
1. cối xay gió cổ Hà Lan; 2- Savorius; 3- nhiều cánh;
4- lí tưởng; 5- ba cánh; 6- hai cánh tốc độ cao; 7- Darrieur.

7.2.2. Hệ số sử dụng năng lượng gió

Dòng không khí khi đi qua tiết diện F chứa cánh bánh công tác có dạng gần giống như giới thiệu trên hình 7.7. Vì rằng bánh công tác khi quay gây nên sự tăng áp nên vận tốc dòng khí

càng gần phía trước và trên một khoảng cách nào đó phía sau bánh công tác sẽ giảm.

Trên hình 7.7 sự thay đổi vận tốc dòng khí được biểu thị bằng đường cong I. Trong trường hợp này dòng khí được coi là đều. Theo sơ đồ chảy, càng gần tới bánh công tác áp suất dòng khí càng tăng, còn sau bánh công tác áp suất giảm đột ngột (đường cong II). Do đó sau bánh công tác tạo thành độ giảm áp, càng xa bánh công tác độ giảm áp này sẽ giảm (đường cong III).

Vận tốc gió tại tiết diện A–A' bằng V, tại tiết diện B-B' bằng V':

$$V' = V - V_1.$$

Sau bánh công tác trên khoảng cách nào đó tại tiết diện C-C' dòng khí có vận tốc V'':

$$V'' = V - V_2.$$

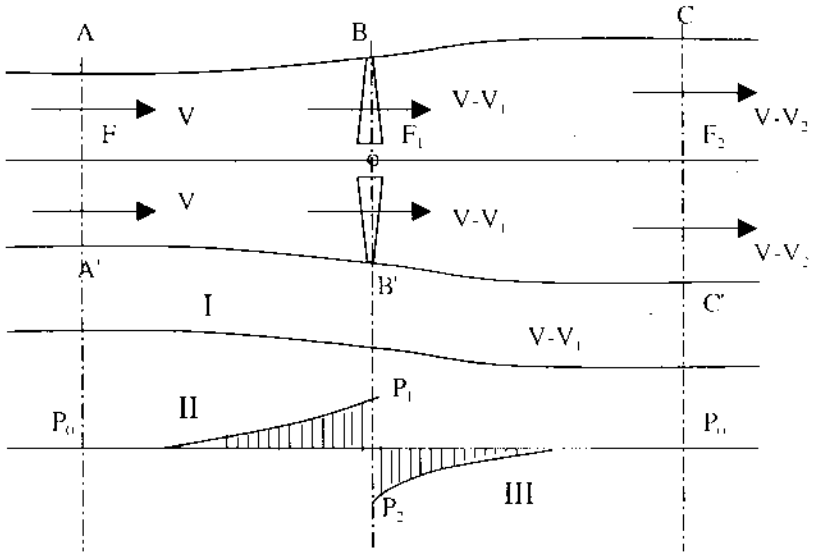
V_1 và V_2 - là tổn thất vận tốc gió khi qua tiết diện chảy bao bánh công tác.

Động năng của gió trước bánh công tác là $mV^2/2$, sau bánh công tác là $m(V - V_2)^2/2$. Năng lượng gió làm quay bánh công tác:

$$T = \frac{mV^2}{2} - \frac{m(V - V_2)^2}{2}. \qquad (7.22)$$

Vế phải phương trình có thể đưa về dạng:

$$\frac{m}{2}\left[V^2 - (V - V_2)^2\right] = \frac{m}{2}\left(2VV_2 - V_2^2\right) - mV_2\left(V - \frac{V_2}{2}\right).$$



Hình 7.7- Hình dạng dòng khí chảy qua mặt phẳng quay của bánh công tác.

Do vậy:

$$T = mV_2\left(V - \frac{V_2}{2}\right). \qquad (7.23)$$

Phần năng lượng bánh công tác gió nhận được này có thể xem như tích của áp lực gió với vận tốc $(V - V_1)$ trong mặt phẳng chứa cánh bánh công tác.

Nếu khảo sát năng lượng trong 1 giây ta có:

$$T = P(V - V_1).$$

Lực P trong chuyển động ổn định bằng gia số động lượng dòng khí trong 1 giây chảy qua mặt phẳng chứa bánh công tác. Vậy

$$P = mV_2.$$

Thế P vào phương trình trên ta được:

$$T = mV_2(V - V_1).$$

Từ phương trình (7.23) có:

$$mV_2\left(V - \frac{V_2}{2}\right) = mV_2(V - V_1).$$

Suy ra

$$V_1 = V_2/2,$$

Hay

$$V_2 = 2V_1. \qquad (7.24)$$

Như vậy tổn thất toàn phần của vận tốc dòng khí sau bánh công tác lớn gấp 2 lần tổn thất vận tốc trong mặt phẳng chứa bánh công tác.

Năng lượng dòng khí trong 1 giây qua tiết diện F.

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{\rho V^3 F}{2}.$$

Năng lượng bánh công tác nhận được bằng $P(V - V_1)$.

Tỷ số giữa năng lượng hữu ích bánh công tác nhận được với năng lượng toàn phần của dòng khí khi đi qua tiết diện chứa bánh công tác gọi là hiệu suất sử dụng năng lượng gió, ký hiệu là ξ:

$$\xi = \frac{P(V - V_1)}{\rho \frac{V^3 F}{2}}. \qquad (7.25)$$

Do $P = mV_2$ và dựa theo phương trình $m = \rho VF$, lượng không khí đi qua bánh công tác trong 1 giây $m = \rho(V - V_1)F$, ta có:

$$P = \rho(V - V_1)FV_2.$$

Nhưng $V_2 = 2V_1$ nên

$$P = \rho(V - V_1)2V_1F.$$

Thay P vào phương trình (6.25) ta nhận được:

$$\xi = \frac{\rho(V - V_1)2V_1F(V - V_1)}{\frac{\rho V^3 F}{2}} = \frac{4(V - V_1)^2 V_1}{V^3} = 4\left(\frac{V - V_1}{V}\right)^2 \frac{V_1}{V}.$$

Từ đó có:

$$\xi = 4\left(1 - \frac{V_1}{V}\right)^2 \frac{V_1}{V}. \qquad (7.26)$$

Phương trình (7.26) cho thấy, ξ phụ thuộc vào gía trị tổn thất vận tốc gió khi đi qua mặt phẳng chứa động cơ gió.

Cho V_1/V các giá trị từ 0 đến 1 và thế vào phương trình (7.26) ta tìm được hệ số sử dụng năng lượng gió lớn nhất khi $V_1/V = 1/3$, tức là

$$\xi_i = 4\left(1 - \frac{1}{3}\right)^2 \frac{1}{3} = \frac{16}{27} = 0{,}593.$$

Đây là hệ số sử dụng năng lượng gió lý thuyết, nó chỉ có thể nhận được đối với bánh công tác gió làm việc không có tổn thất, tức là bánh công tác lý tưởng.

Bởi vậy giá trị $\xi_i = 0{,}593$ là hệ số sử dụng năng lượng gió lý tưởng. Đây là giá trị giới hạn mà các hệ số sử dụng năng lượng gió của động cơ gió thực cần tiệm cận tới.

Giá trị lớn nhất ξ_i có thể nhận được với quan hệ $V_1/V = 1/3$, tức là bánh công tác gió lý tưởng cần làm việc sao cho tổn thất vận tốc gió bằng 1/3 ($V_1 = V/3$).

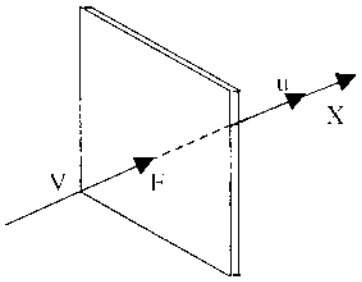
Hệ số sử dụng năng lượng gió ở tấm phẳng chuyển động dưới tác động của gió nhỏ hơn nhiều so với ở bánh công tác gió dạng cánh.

Giả sử tấm phẳng F nằm vuông góc với hướng gió và di chuyển bởi lực X với vận tốc u nào đó theo cùng hướng gió (hình 7.8). Khi đó tấm phẳng có thể thực hiện được công trong 1 giây bằng tích của lực bên X với vận tốc u, tức là:

$$T = Xu.$$

Vì tấm phẳng chuyển dịch theo hướng gió nên dòng khí chảy vào với vận tốc bằng hiệu vận tốc gió V và vận tốc dịch chuyển U. Bởi vậy trong trường hợp này ta có:

$$X = C_X F \frac{\rho(V-U)^2}{2}.$$



Hình 7.8- Lực tác dụng lên mặt phẳng vuông góc với hướng dòng khí.

Thế giá trị của X vào biểu thức trên ta được:

$$T = C_X F \frac{\rho}{2}(V-U)^2 U. \qquad (7.27)$$

Chia vế phải phương trình cho biểu thức $mV^2/2 = \rho V^3 F/2$ ta nhận được hệ số sử dụng lý tưởng năng lượng gió của tấm phẳng làm việc dưới tác dụng của lực cản và dịch chuyển theo hướng của dòng:

$$\xi = \frac{C_X F \frac{\rho}{2}(V-U)^2 U}{F\rho \frac{V^3}{2}} = C_X (V-U)^2 \frac{U}{V^3}. \qquad (7.28)$$

Sau khi biến đổi ta được:

$$\xi = C_X \left(1 - \frac{U}{V}\right)^2 \frac{U}{V}. \qquad (7.29)$$

Chúng ta xác định giá trị tỷ số U/V mà với giá trị này sẽ có hệ số sử dụng lớn nhất năng lượng gió. Lập luận tương tự như khi khảo sát sự làm việc của bánh công tác gió lý tưởng ta xác định được, giá trị lớn nhất của hệ số ξ sẽ có được khi U/3 = 1/3, khi mà vận tốc dịch chuyển của bản phẳng bằng 1/3 vận tốc gió, tức là

$$U = V/3.$$

Khi đó :

$$\xi_{max} = C_X \left(1 - \frac{1}{3}\right)^2 \frac{1}{3} = C_X \frac{4}{27} = 0{,}148 C_X. \qquad (7.30)$$

Hệ số lực cản C, đối với tấm phẳng vuông góc với hướng gió có giá trị trung bình bằng 1,3. Do vậy hệ số sử dụng lớn nhất năng lượng gió của bản phẳng làm việc dưới tác dụng của lực cản bằng:

$$\xi_{max} = 0,148.1,3 = 0,192.$$

Giá trị này nhỏ hơn hệ số sử dụng năng lượng gió của động cơ gió dạng cánh 3,08 lần.

7.2.3. Công suất động cơ gió

Thông thường công suất động cơ được tính bằng mã lực hay kW (1 kW = 1,36 mã lực).

Chia vế phải của phương trình (7.21) cho 75 ta nhận được công suất bánh công tác của động cơ gió.

$$N = \frac{\rho V^3 F\xi}{2.75} = \frac{\rho V^3 F\xi}{150}, \quad \text{mã lực.} \tag{7.31}$$

Hay

$$P = \frac{\rho V^3 F\xi}{2.75.1,36} = \frac{\rho V^3 F\xi}{204}, \quad \text{kW.} \tag{7.32}$$

Tiết diện chứa bánh công tác:

$$F = \pi D^2/4 = 0,785D^2,$$

Với D là đường kính bánh công tác gió.

Khối lượng riêng của không khí ở nhiệt độ 15°C và áp suất 760 mmHg là $\rho = 1,226$ Ns^2/m^4, ở nhiệt độ 0°C và áp suất 760 mmHg là $\rho = 1,295$ Ns^2/m^4.

Thay giá trị của F và ρ vào phương trình (7.31) và (7.32) ta được:

$$N = \frac{0,125V^3.0,785D^2\xi}{150} = \frac{V^3D^2\xi}{1530}, \text{ (ml).} \tag{7.33}$$

$$P = \frac{V^3D^2\xi}{2080}, \quad \text{kW.} \tag{7.34}$$

Với bánh công tác gió loại 2 cánh $\xi_{max} = 0,45 - 0,48$;

Với bánh công tác gió loại nhiều cánh $\xi_{max} = 0,35 - 0,38$.

Đối với phần lớn các vùng với vận tốc gió trung bình trong năm tới 5m/s, công suất danh nghĩa của động cơ gió được tính ở vận tốc 8m/s.

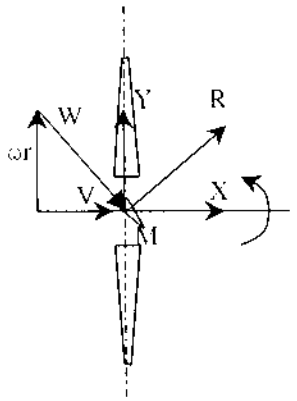
Đối với bánh công tác gió thực, hệ số sử dụng năng lượng gió lấy bằng 0,3, khi đó công suất bánh công tác gió ở vận tốc 8m/s bằng:

$$N = \frac{D^2}{10}, \quad \text{mã lực} = \frac{D^2}{13,6}, \text{kW}. \qquad (7.35)$$

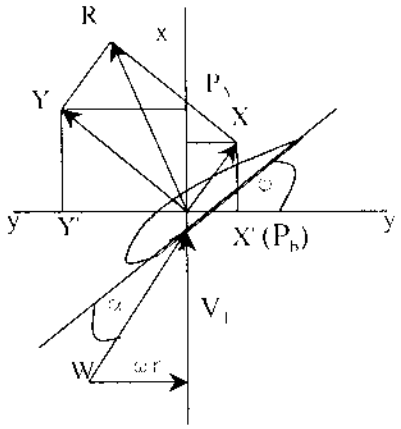
7.2.4. Nguyên lý làm việc của bánh công tác động cơ gió dạng cánh

Nếu bánh công tác gió được đặt sao cho trục của nó trùng với hướng gió (hình 7.9) thì trên các cánh sẽ xuất hiện lực thuỷ động R với lực thành phần Y tạo ra mômen quay M_q trên trục bánh công tác gió trong mặt phẳng quay của nó.

Khi bánh công tác gió quay, trên mỗi phân tố của cánh đều có dòng khí chảy vào, vận tốc của nó là tổng của vận tốc gió hướng vuông góc với mặt phẳng quay và vận tốc vòng của các phần tử khí trong mặt phẳng quay của bánh công tác gió (hình 7.9).



Hình 7.9- Vị trí làm việc của bánh công tác gió trong dòng khí.



Hình 7.10- Tam giác vận tốc và lực tác dụng lên cánh.

Các vận tốc vòng này trong các tiết diện khác nhau có giá trị khác nhau và nó tương ứng với bán kính tiết diện. Tam giác vận tốc dòng khí chảy vào lá cánh và lực tác dụng lên cánh được giới thiệu trên hình 7.10. Dòng khí trước bánh công tác chuyển động chậm lại và chảy vào cánh với vận tốc V_1. Ngoài ra, do chuyển động của lá cánh trong mặt phẳng x-y, mỗi phân tố của lá cánh gặp dòng khí với vận tốc ωr.

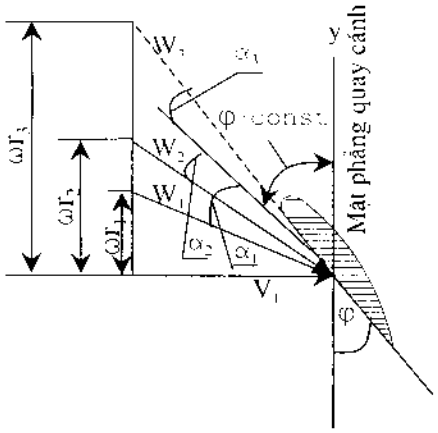
Vận tốc V_1 và ωr cộng hình học với nhau cho vận tốc tổng cộng W. Dòng khí chảy vào lá cánh với vận tốc W hướng tạo thành góc va α với dây cung của prôphin. Vận tốc này được gọi là vận tốc tương đối, giá trị của nó được xác định bằng công thức:

$$W = \sqrt{V_1^2 + (\omega r)^2}. \qquad (7.36)$$

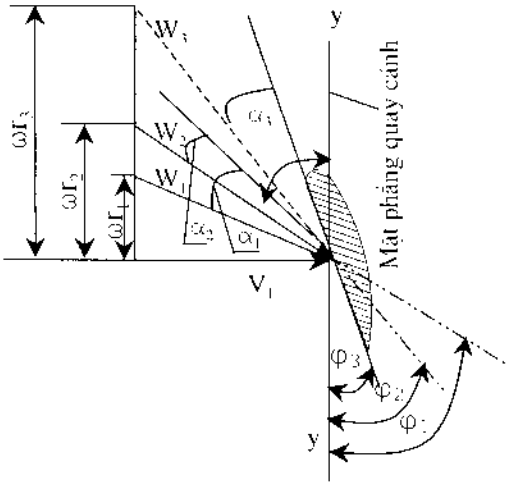
Dòng khí chảy vào các phần tố lá cánh với vận tốc tương đối W tạo ra lực R. Lực này có thể phân tích thành lực nâng Y và lực cản X.

Lực X làm tăng lực bên P_b và tạo thành lực cản X' trong mặt phẳng bánh công tác. Lực này sẽ càng nhỏ nếu chọn được prôphin khí động tốt. Thành phần lực Y' tác dụng trong mặt phẳng x-y làm quay bánh công tác.

Góc giữa dây cung prophin cánh và mặt phẳng quay của nó gọi là góc đặt cánh và ký hiệu là φ.



Hình 7.11- Tam giác vận tốc dòng khí chảy vào lưới cánh trụ.



Hình 7.12- Tam giác vận tốc dòng khí chảy vào bánh công tác dạng vặn vỏ đỗ (cong không gian).

Mỗi lưới trụ có một góc đặt cánh φ. Dùng nhiều mặt trụ đồng tâm cắt bánh công tác hướng trục ta sẽ tạo ra nhiều lưới cánh trụ. Do vận tốc tương đối của dòng khí khác nhau theo chiều dài cánh, nên góc va của các prôphin cánh ở các tiết diện khác nhau sẽ khác nhau (hình 7.11). Trong khí động học ta biết là, với giá trị góc va α = 2 - 8° tuỳ thuộc prôphin, lực nâng của cánh có giá trị lớn nhất. Góc va α của cánh thẳng thay đổi theo sự thay đổi của vận tốc vòng. Vì vậy để nhận được góc va α tốt nhất theo chiều dài cánh cần phải giảm góc đặt cánh φ của mỗi tiết diện theo độ dài của cánh tính từ tâm bánh công tác (hình 7.12). Trong trường hợp đó có thể đạt được mục đích để cho dòng chảy vào mỗi tiết diện cánh với góc va α đều nhau và có lợi nhất. Cánh chế tạo với góc đặt φ thay đổi có dạng cong hai chiều (vặn vỏ đỗ). Như vậy dạng cánh có lợi nhất là dạng cong hai chiều hay cong không gian.

7.2.5. Đặc tính khí động của động cơ gió

Đặc tính khí động của động cơ gió cho thấy sự phụ thuộc của mômen tương đối $\overline{M}$ và hệ số sử dụng năng lượng gió ξ vào độ cao tốc Z. Hình dạng của nó phụ thuộc vào số lá cánh, chiều rộng, góc nghiêng và dạng prophin khí động của cánh

Các thông số chính để xây dựng đường đặc tính là:

$\overline{M}_H = \dfrac{M_H}{\pi R^3 \rho \dfrac{V^2}{2}}$ - mômen quay danh nghĩa tương đối tạo bởi bánh công tác động cơ gió ứng với độ cao tốc danh nghĩa Z_H.

$Z_H = \dfrac{\omega R}{V}$, - độ cao tốc ứng với nó $\xi = \xi_{max}$.

$\overline{M}_0$ - mômen ban đầu tương đối tạo bởi bánh công tác khi khởi động, tức là khi Z = 0.

Z_0 - độ cao tốc đồng bộ ứng với $\overline{M}_0 = 0$.

$\overline{M}_{max}$ - mômen cực đại tạo bởi bánh công tác.

Tỷ số $\overline{M}_{max}/\overline{M}_H$ gọi là sự quá tải của bánh công tác.

Từ việc khảo sát các đường đặc tính của bánh công tác động cơ gió có độ cao tốc khác nhau (hình 7.13) và các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm có thể rút ra các kết luận sau:

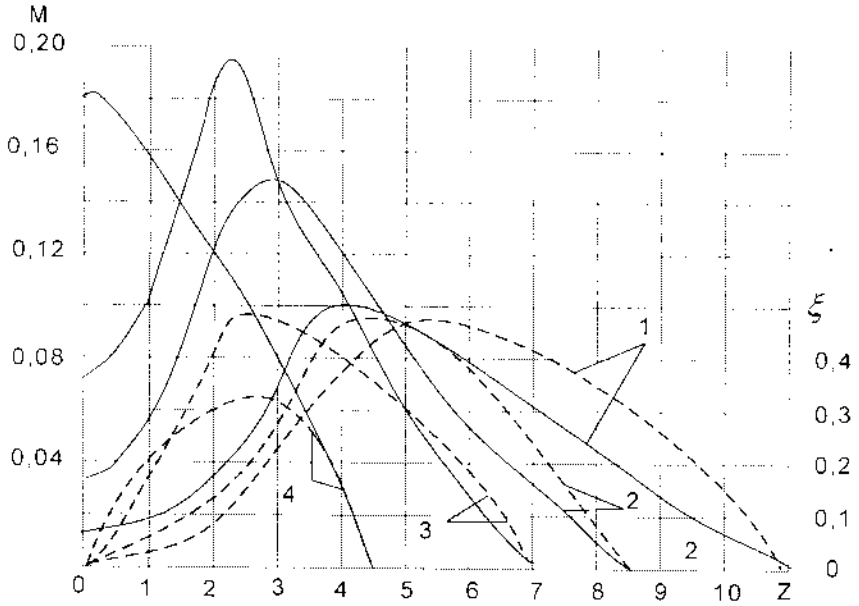
1. Số cánh càng lớn, chiều rộng cánh và góc nghiêng càng lớn thì độ cao tốc của bánh công tác và đại lượng Z_0 càng nhỏ, giá trị $\overline{M}_0$ càng lớn , còn đường cong M(z) có độ dốc lớn.

2. Ở các bánh công tác có cao tốc lớn, đại lượng $\overline{M}_0$ nhỏ hơn $\overline{M}_H$ một số lần, còn Z_0 lớn hơn bình thường 2 ÷ 2,5 lần.

3. Công suất bánh công tác động cơ gió với những điều kiện khác như nhau ít phụ thuộc vào số cánh và hệ số điền đầy k_3 = S/F - đó là tỷ số diện tích lá cánh với diện tích bề mặt bánh công tác chiếm chỗ. Các yếu tố ảnh hưởng chính tới công suất là hình dạng, kích thước và dạng prophin của các lá cánh, vị trí của chúng trong dòng khí và đường kính bánh công tác.

4. Giảm mômen ban đầu tương đối xảy ra nhanh hơn so với sự tăng lên của độ cao tốc.

Ví dụ khi Z_H tăng lên 2 lần thì $\overline{M}_0$ giảm 6 - 7 lần. Trong khi đó sự tăng tốc xác định bởi tỷ số $\overline{M}_0/\overline{M}_H$ ở bánh công tác loại 6 cánh tăng 3,3 lần so với ở bánh công tác loại 2 cánh.

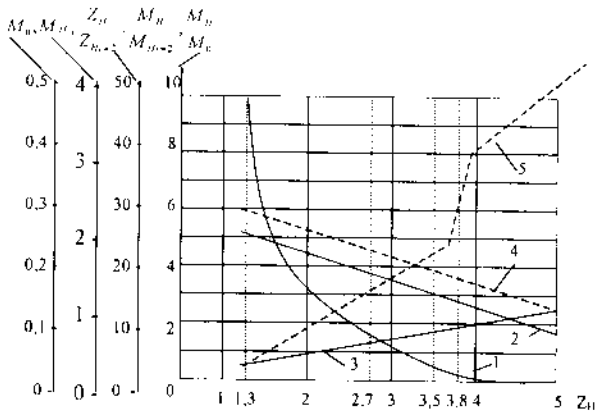


Hình 7.13- Đặc tính bánh công tác động cơ gió với độ cao tốc khác nhau:
1 - loại 2 cánh; 2- loại 3 cánh; 3- loại 6 cánh; 4- loại 18 cánh [đường đậm $\overline{M}$ (Z); đường đứt nét ξ(Z)]

5. Đối với sơ đồ khí động cho trước tần số quay của bánh công tác tỷ lệ thuận với độ cao tốc của nó, với vận tốc gió và tỷ lệ ngược với đường kính.

Sự thay đổi một số các thông số khí động tương đối không thứ nguyên của bánh công tác biểu thị dưới dạng thập phân so với các giá trị của các thông số tương tự của bánh công tác loại 2 cánh với Z_{II} = 7 với ký hiệu i = 2, được cho trên hình 7.14. Từ đồ thị này ta thấy rằng, với các bánh công tác trừ loại 18 cánh, do giá trị $\overline{M}_{0i}$ lớn sử dụng bánh công tác quay chậm (Z_{II} nhỏ) sẽ tốt hơn.

Thêm vào đó, gradien của tỷ số $\overline{M}_{0i}/\overline{M}_{0i=2}$ lớn hơn so với độ giảm Z_{II}. Song khi giảm Z_{II} từ 5 xuống 2,7 (1,85 lần) $\overline{M}_{II}$ chỉ tăng gấp 2 lần. Như vậy về phương diện giá trị mômen danh nghĩa, sử dụng bánh công tác quay chậm (Z_{II} nhỏ) sẽ không tối ưu.



Hình 7.14- Sự thay đổi một số đặc tính khí động không thứ nguyên của bánh công tác:
1- $\overline{M}_0$, 2- $\overline{M}_{1l}$, 3 - $Z_{1l}/Z_{1l/i=2}$, 4 - $M_{1l}/M_{1l/i=2}$, 5 -M_{1l}/M_0

Trong nhiều trường hợp (ví dụ khi làm việc với máy phát điện, máy nén khí) trong điều kiện như nhau, công sinh ra của động cơ gió quay nhanh và quay chậm gần như nhau.

Khi chọn và tính toán sơ đồ động cơ gió cần phải tính tới các đặc tính khí động của bánh công tác và đặc tính tải của máy công tác.

Ví dụ để dẫn động bơm quay chậm có mômen cản ban đầu lớn, nên sử dụng động cơ gió nhiều cánh. Điều đó cho phép giảm giá trị vận tốc làm việc tối thiểu của gió, giảm tỷ số truyền của hộp số và tổn thất cơ khí. Thật vậy, so với bánh công tác độ cao tốc lớn, giá trị ξ_{min} giảm. Để kết hợp với máy phát điện có tần số quay lớn, mômen cản ban đầu nhỏ và tăng đều hoà thì dùng bánh công tác quay nhanh hiệu quả hơn.

Trong các năm gần đây, nhờ sử dụng các cánh có prophin khí động tốt và các sơ đồ tự động điều khiển khác nhau đã làm tăng được hiệu quả sử dụng bánh công tác quay nhanh, thể hiện ở chỗ làm tăng mômen khởi động, tăng công suất, giảm độ quay không đều ... Tất cả điều đó làm tăng hiệu quả kinh tế của tổ máy động cơ gió.

7.2.6 Tính toán sơ bộ kích thước, biên dạng cánh và công suất động cơ gió

7.2.6.1. Tính toán kích thước động cơ gió

Công suất động cơ gió được tính theo vận tốc gió và đường kính bánh công tác theo công

thức (7.34) như sau (thay P bằng N):

$$N = \frac{V^3 D^2 \xi}{2080}, \text{ kW.}$$

Trong đó: V - tốc độ gió tính bằng m/s ;

D - đường kính bánh công tác gió - m;

ξ - hệ số sử dụng năng lượng gió.

Hệ số ξ có giá trị như sau:

$\xi = 0,35 \div 0,38$ - đối với loại động cơ gió vòng quay thấp (nhiều cánh) chất lượng tốt. Bình thường có thể chọn $\xi = 0,3$.

$\xi = 0,45 \div 0,48$ - đối với loại động cơ gió vòng quay cao (ít cánh) chất lượng tốt. Bình thường có thể chọn $\xi = 0,4$.

Để tính năng lượng điện ở đầu ra của máy phát điện gió cần phải tính tới hiệu suất động cơ gió và hiệu suất máy phát điện, tức là phải tính tới các dạng tổn thất sinh ra trong máy như tổn thất khí động, tổn thất cơ khí, tổn thất từ (trong máy phát)... Hiệu suất máy phát công suất nhỏ tuỳ từng loại có thể có giá trị trong khoảng $0,6 \div 0,8$, hiệu suất động cơ gió từ 0,7 đến 0,8.

Từ biểu thức tính công suất ở trên ta xác định được đường kính bánh công tác gió:

$$D = \sqrt{\frac{2080.N}{V^3 \xi.\eta}}, \text{ m.}$$

Trong đó: công suất N tính bằng kW, vận tốc V tính bằng m/s.

Vận tốc quay của động cơ gió được xác định từ biểu thức:

$$Z = \frac{\omega R}{V},$$

trong đó : Z - độ cao tốc đặc trưng cho độ quay nhanh của bánh công tác gió ;

R - bán kính bánh công tác gió, m;

V - vận tốc gió, m/s.

Độ cao tốc của động cơ gió có giá trị như sau:

Loại 2 cánh	$Z = 4 \div 6$,
Loại 3 cánh	$Z = 3 \div 5$,
Loại nhiều cánh	$Z = 2 \div 3$.

Từ biểu thức tính số Z ta có:

$$\omega = \frac{ZV}{R}, \quad \text{rad/s.}$$

Từ đó có

$$n = \frac{30\omega}{\pi}, \quad \text{vg/ph.}$$

Thay ω vào biểu thức tính n ta được:

$$n = \frac{30ZV}{\pi.R}, \quad \text{vg/ph.}$$

Dựa theo các biểu thức tính toán ở trên ta xác định được kích thước và số vòng quay của động cơ gió đảm bảo công suất yêu cầu hoặc ngược lại.

7.2.6.2. Chọn số cánh

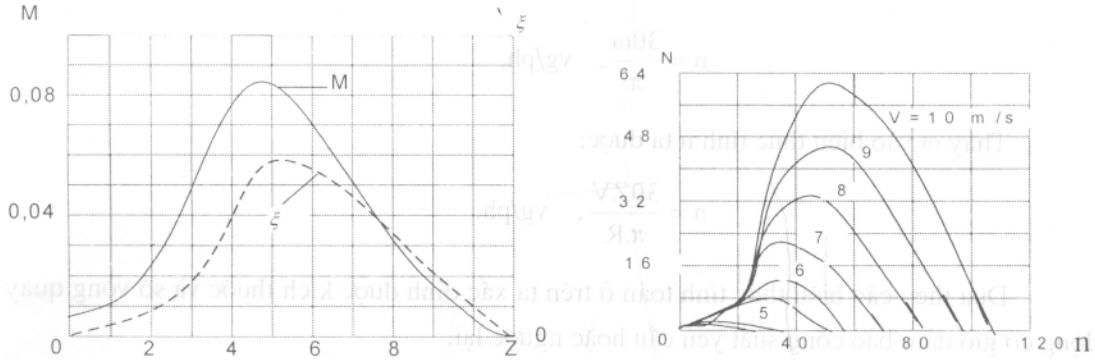
Với động cơ gió phát điện yêu cầu tốc độ cao, hiệu suất cao nhưng không đòi hỏi mômen khởi động lớn, nên dùng ít cánh, thường là 2 đến 3 cánh với prophin dạng khí động học. Loại 2 cánh cho tốc độ và hiệu suất cao hơn nhưng khó cân bằng hơn và mômen khởi động nhỏ hơn. Với động cơ gió bơm nước không yêu cầu tốc độ cao nhưng đòi hỏi mômen khởi động lớn, nên phải có nhiều cánh, thông thường là từ 10 đến 24 cánh và chỉ dùng dạng cánh tấm cong hiệu suất thấp hơn, cũng có thể chỉ cần 4 cánh nếu dùng loại bơm cột áp thấp.

7.2.6.3. Tính toán biên dạng cánh

Biên dạng cánh có ảnh hưởng quyết định đến hiệu suất của cánh. Có nhiều loại biên dạng cánh khí động học chất lượng cao đã được nghiên cứu tại các cơ quan nghiên cứu nổi tiếng về thuỷ khí động học trên thế giới như Viện SAGY của Liên xô trước đây (biên dạng ESPERO), hoặc Viện nghiên cứu vũ trụ NASA của Mỹ (biên dạng NACA) dùng cho động cơ gió phát điện hoặc dạng cánh cong, mỏng dùng cho động cơ gió bơm nước. Biên dạng cánh ứng với các tiết diện từ sát bầu cánh tới gần mút ngoài của cánh được chọn căn cứ vào các biên dạng mẫu được cho trong cẩm nang biên dạng cánh khí động dựa trên cơ sở tính toán các thông số hình học như chiều dài prôphin, góc đặt cánh, góc va...và thông số động học như hệ số lực nâng và lực cản của cánh (phần này sẽ không trình bày trong khuôn khổ của giáo trình này). Dựa trên kết quả tính toán ta xây dựng được lá cánh của bánh công tác gió và có thể xây dựng được đường đặc tính khí động của cánh (bằng phương pháp tương tự). Trị số của N và n được tính theo các công thức ở trên.

Từ đường đặc tính khí động có thể xây dựng được đặc tính công suất của bánh công tác

gió, biểu thị quan hệ giữa công suất và số vòng quay của bánh công tác gió ở từng tốc độ gió khác nhau: N = f(n), (hình 7.15)



a) Đặc tính khí động

b) Đặc tính công suất

Hình 7.15- Đặc tính khí động và đặc tính công suất của bánh công tác động cơ gió.

Căn cứ vào đặc tính công suất của bánh công tác động cơ gió và đặc tính làm việc của máy phát điện hoặc máy bơm nước để giải bài toán phối hợp tải giữa động cơ gió và máy phát điện hoặc máy bơm nước.

7.3 ỨNG DỤNG NĂNG LƯỢNG GIÓ

Từ lâu con người đã biết sử dụng năng lượng gió để tạo ra cơ năng thay thế cho sức lao động nặng nhọc, điển hình là các thuyền buồm chạy bằng sức gió, các cối xay gió xuất hiện từ thế kỷ 14 được dùng phổ biến từ thế kỷ 17, thịnh vượng nhất vào thế kỷ 18 đặc biệt ở Hà Lan với hàng ngàn chiếc. Từ thế kỷ 19 đến nửa đầu thế kỷ 20 với sự xuất hiện và phát triển của máy hơi nước và các loại động cơ đốt trong, các cối xay gió hầu như bị lãng quên. Nhưng từ vài chục năm gần đây với nguy cơ cạn dần các nguồn nhiên liệu khai thác được từ lòng đất và vấn đề ô nhiễm môi trường do việc đốt hàng ngày một khối lượng lớn các nguồn nhiên liệu hoá thạch nêu trên. Việc nghiên cứu sử dụng các dạng năng lượng tái tạo của thiên nhiên trong đó có năng lượng gió lại được nhiều nước trên thế giới kể cả các nước có nền công nghiệp năng lượng phát triển rất mạnh như Nga, Mỹ, Pháp, CHLB Đức, Hà Lan, Anh, Đan Mạch, Thụy Điển... đặc biệt quan tâm. Trên cơ sở áp dụng các thành tựu mới của nhiều ngành khoa học tiên tiến như thuỷ khí động lực học, tự động điều khiển, cơ học kết cấu, truyền động thuỷ lực, vật liệu mới... việc nghiên cứu sử dụng năng lượng gió đã đạt được những tiến bộ rất lớn cả về chất lượng các thiết bị và quy mô ứng dụng. Từ các cối xay gió với các cánh gió đơn giản hiệu suất sử dụng năng

lượng thấp chỉ khoảng dưới 20%, đến nay các động cơ gió phát điện với cánh quạt có biên dạng khí động học ngày một hoàn thiện hơn có thể đạt được hiệu suất sử dụng năng lượng cao tới 42%. Nhiều phương pháp và hệ thống tự động điều khiển hiện đại đã được sử dụng để tự động ổn định số vòng quay của động cơ gió. Những động cơ gió phát điện lớn còn dùng cả hệ thống tự động điện thuỷ lực và máy tính điện tử điều khiển. Nhiều vật liệu mới đã được sử dụng để chế tạo cánh như hợp kim nhôm, pôlime cốt sợi thuỷ tinh với độ bền cao trong mọi điều kiện thời tiết và chịu được sức gió của bão. Tại những nơi có gió tốt, người ta ghép nhiều động cơ gió với nhau tạo thành "rừng máy phát điện gió". Người ta đã có thể chế tạo những động cơ gió phát điện rất lớn đường kính tới 80m, công suất tới 3000 kW.

Tuy nhiên đối với mỗi nước quy mô phát triển của việc ứng dụng năng lượng gió còn phụ thuộc vào vị trí địa lý, đặc điểm tiềm năng gió và trình độ công nghiệp.

7.3.1. Ứng dụng động cơ gió phát điện

Một trong những ứng dụng quan trọng nhất của động cơ gió là để chạy máy phát điện. Các động cơ gió dùng để kéo máy phát điện thường là các máy ít cánh có số vòng quay tương đối lớn (độ cao tốc Z lớn). Sơ đồ cấu tạo các loại động cơ gió được giới thiệu trong phần 7.3.1.1.

Điều quan trọng khi dùng động cơ gió chạy máy phát điện là phải đảm bảo sự phối hợp tải giữa động cơ gió và máy phát điện. Máy phát điện thường có tốc độ quay lớn, còn động cơ gió thường có tốc độ quay nhỏ hơn. Để cho hai máy có thể phối hợp làm việc với nhau được, cần phải sử dụng máy phát có tốc độ quay thấp hoặc phải sử dụng các bộ truyền trung gian như hộp số, đai truyền, biến tốc thuỷ lực...

7.3.1.1. Thiết bị điện dùng cho máy phát điện gió

Độ phức tạp của thiết bị điện các máy phát điện gió phụ thuộc rất nhiều vào công suất của chúng. Với công suất từ 1 đến 3 MW gần như toàn bộ thiết bị điện, cơ khí, thuỷ lực đều đặt trên đỉnh cột kể cả hệ thống thông tin và máy tính điều khiển.

Máy phát công suất lớn thường là máy tự kích, điện áp ra xoay chiều 3 pha. Máy phát công suất nhỏ một vài kW cũng thường là máy tự kích một pha hoặc 3 pha. Còn các máy phát công suất cực nhỏ dưới 1 kW thường dùng là máy phát nam châm vĩnh cửu điện áp xoay chiều một pha. Qua thời gian dài sử dụng, từ trường nam châm sẽ bị yếu cần phải nạp lại hoặc thay thế nam châm mới.

Ở các máy phát tự kích, từ trường khi bắt đầu làm việc là từ dư. Khi phát điện một phần dòng điện phát ra sẽ được nắn thành dòng một chiều và đưa về kích thích từ trường rôto. Vì lý do đó người ta gọi chúng là những máy phát tự kích. Với các máy phát tự kích từ trường luôn luôn được bổ sung nên không có hiện tượng từ trường bị yếu đi.

Để tích trữ năng lượng điện khi không có gió hoặc gió yếu người ta sử dụng các bộ nắn dòng và hạ thế xuống 12 hoặc 24 V để nạp ácquy. Người ta cũng chế tạo riêng các máy phát điện gió nạp ắc quy. Đó là các máy phát một chiều điện áp thấp 12 hoặc 24 vôn.

Như trên chúng ta biết, gió có đặc điểm là vận tốc không ổn định và hướng gió luôn thay đổi. Cho nên việc điều chỉnh hướng quay và điều chỉnh tốc độ quay của cánh quạt là hết sức quan trọng.

Dưới đây chúng ta sẽ tìm hiểu qua nguyên lý làm việc của các thiết bị này.

7.3.1.2. Nguyên lý làm việc của hệ thống tự động điều chỉnh theo hướng gió

Đối với động cơ gió trục ngang không thể thiếu được hệ thống tự động điều chỉnh theo hướng gió để giữ cho mặt phẳng quay của cánh luôn vuông góc với hướng gió, bảo đảm cho động cơ gió nhận được năng lượng gió tối đa. Hệ thống tự động điều chỉnh hướng gió có nhiều kiểu khác nhau:

- Định hướng bằng đuôi lái. Loại này hay dùng cho các động cơ gió công suất nhỏ dưới 15 kW. Loại này có ưu điểm là cấu tạo đơn giản, độ nhạy cao (hình 7.16).

- Định hướng bằng một cánh quạt phụ nhỏ có trục ngang vuông góc với trục quay của cánh quạt chính của động cơ gió. Cánh quạt phụ nhỏ này thường lắp bên cạnh về phía sau động cơ gió.

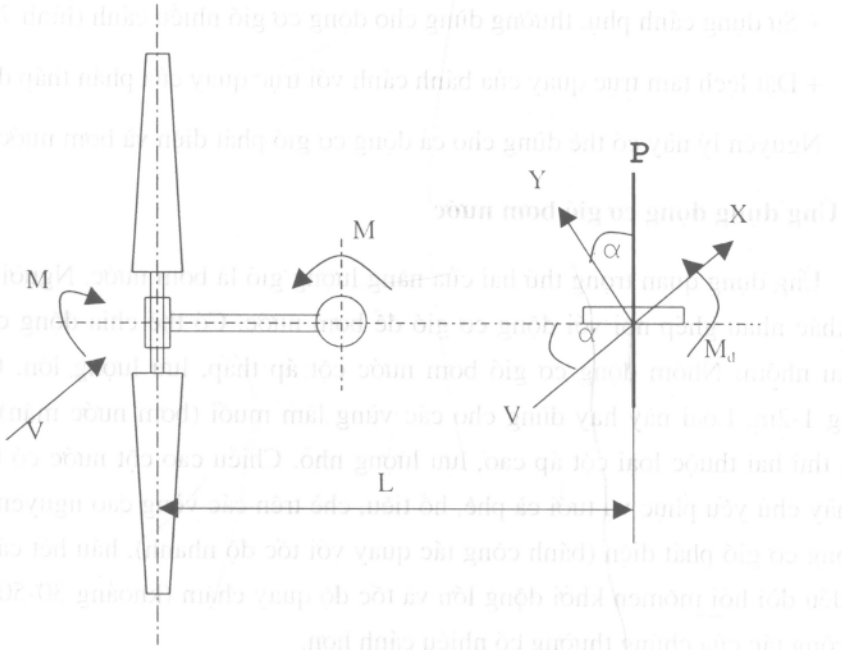
- Định hướng gió nhờ truyền động điện hay dùng cho các động cơ gió phát điện công suất trung bình và lớn. Ở những máy này ta không nhìn thấy đuôi lái. Trên thân động cơ gió có gắn một thiết bị định hướng gió rất nhỏ. Thiết bị này có mối liên hệ điều khiển với một động cơ điện làm quay toàn bộ động cơ gió khi hướng gió thay đổi, nhờ động cơ điện này các cánh động cơ gió luôn luôn hướng đúng hướng gió.

7.3.1.3. Nguyên lý làm việc của hệ thống tự động điều chỉnh tốc độ quay của cánh quạt

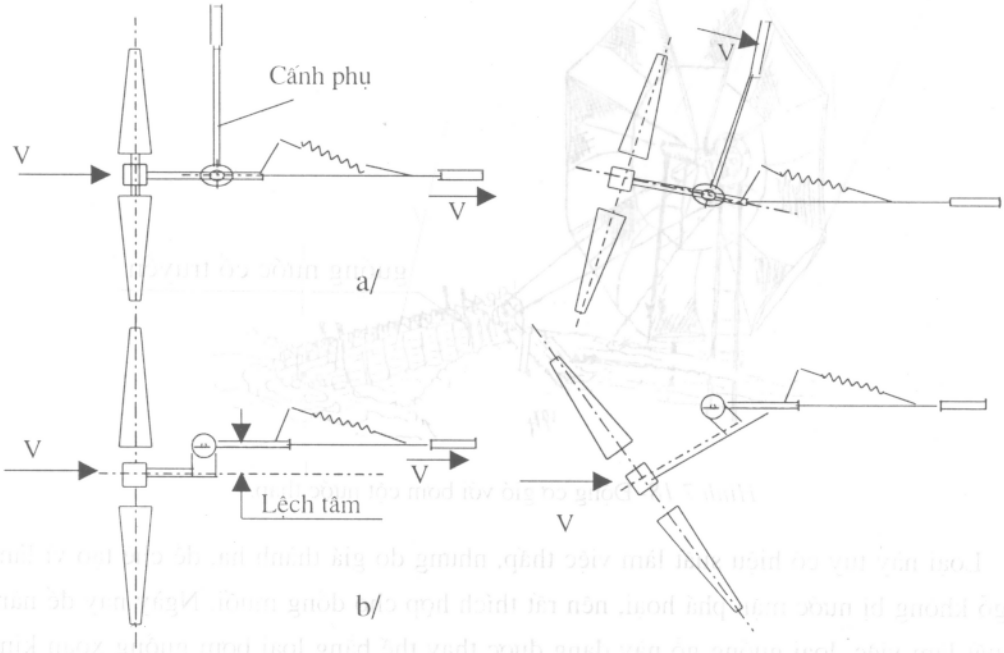
Để tránh cho động cơ gió khỏi bị hư hại trước các cơn gió mạnh hoặc bão, một vấn đề kỹ thuật rất quan trọng cần giải quyết đối với động cơ gió là tự động giảm tốc độ quay của cánh khi tốc độ gió vượt quá tốc độ thiết kế. Có nhiều hệ thống tự động điều chỉnh tốc độ quay nhưng phổ biến là:

- Hệ thống tự động thay đổi góc đặt cánh còn gọi là tự động biến bước cánh (nhờ lực ly tâm với động cơ gió nhỏ hoặc truyền động điện - cơ khí với động cơ gió lớn) thường dùng cho động cơ gió phát điện ít cánh. Trong trường hợp này các cánh sẽ tự động xoay quanh trục tâm quay của chúng một góc nhỏ theo hướng giảm góc tấn α.

- Hệ thống phanh khí động chỉ dùng cho động cơ gió phát điện 2 cánh. Khi gió quá mạnh, do lực ly tâm hai càng phanh khí động bung ra cản bớt tốc độ quay của bánh cánh.



Hình 7.16- Hệ thống tự động định hướng bằng đuôi lái.



Hình 7.17- Hệ thống tự động điều chỉnh đưa toàn bộ cánh ra khỏi hướng gió khi có gió mạnh:
a. điều chỉnh bằng cánh phụ; b. trục quay bánh công tác đặt lệch tâm với tháp động cơ gió.

Hệ thống tự động đưa toàn bộ bánh cánh ra khỏi hướng gió theo hai nguyên lý hoạt động:

+ Sử dụng cánh phụ, thường dùng cho động cơ gió nhiều cánh (hình 7.17,a).

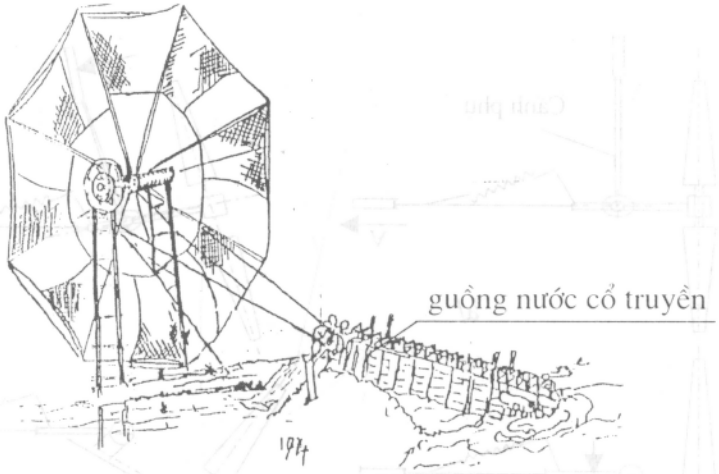
+ Đặt lệch tâm trục quay của bánh cánh với trục quay của phần tháp động cơ gió.

Nguyên lý này có thể dùng cho cả động cơ gió phát điện và bơm nước (hình 7.17,b).

7.3.2. Ứng dụng động cơ gió bơm nước

Ứng dụng quan trọng thứ hai của năng lượng gió là bơm nước. Người ta sử dụng các loại bơm khác nhau ghép nối với động cơ gió để bơm nước. Có thể chia động cơ gió bơm nước ra làm hai nhóm: Nhóm động cơ gió bơm nước cột áp thấp, lưu lượng lớn. Chiều cao bơm chỉ khoảng 1-2m. Loại này hay dùng cho các vùng làm muối (bơm nước mặn) và tưới ruộng lúa. Nhóm thứ hai thuộc loại cột áp cao, lưu lượng nhỏ. Chiều cao cột nước có thể đạt tới 15-35m. Loại này chủ yếu phục vụ tưới cà phê, hồ tiêu, chè trên các vùng cao nguyên. Không giống như các động cơ gió phát điện (bánh công tác quay với tốc độ nhanh), hầu hết các động cơ gió bơm nước đều đòi hỏi mômen khởi động lớn và tốc độ quay chậm (khoảng 30-50 vòng/phút). Do đó bánh công tác của chúng thường có nhiều cánh hơn.

Để bơm nước lên độ cao thấp người ta hay dùng guồng đạp nước cổ truyền (hình 7.18).

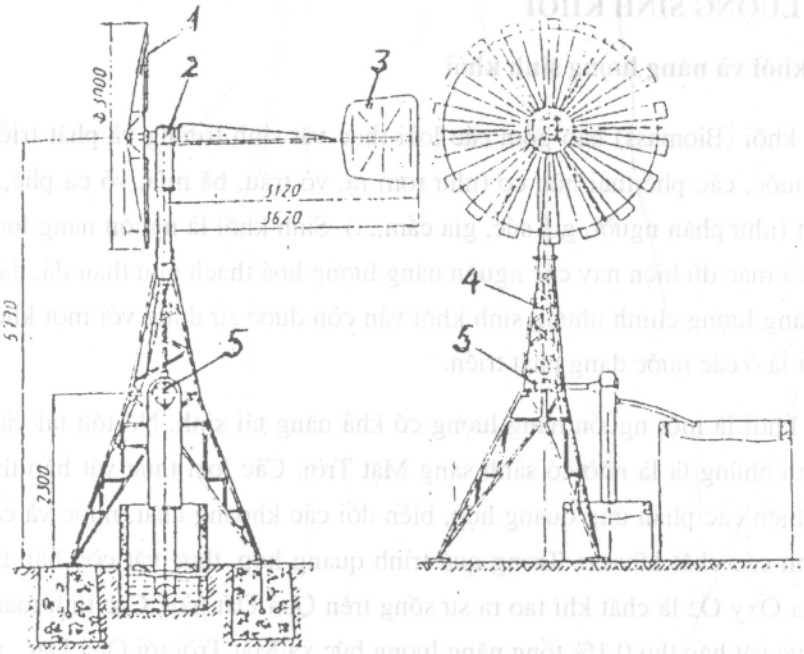


Hình 7.18- Động cơ gió với bơm cột nước thấp.

Loại này tuy có hiệu suất làm việc thấp, nhưng do giá thành hạ, dễ chế tạo vì làm toàn bằng gỗ không bị nước mặn phá hoại, nên rất thích hợp cho đồng muối. Ngày nay để nâng cao hiệu suất làm việc, loại guồng gỗ này đang được thay thế bằng loại bơm guồng xoắn kim loại, cánh guồng xoắn được bọc bằng chất dẻo.

Để tạo ra cột nước cao, người ta hay dùng loại bơm piston (hình 7.19) hoặc loại bơm màng với cột nước trung bình. Để đảm bảo động cơ gió bơm nước hoạt động được ta phải phối hợp tải (mômen, tốc độ quay) giữa bánh công tác động cơ gió với hệ bơm nước. Nếu các thông số này giữa bánh công tác và hệ bơm nước không phù hợp với nhau ta cần dùng thêm các bộ truyền cơ khí như hộp số, xích... để giảm hoặc tăng tốc.

Ngoài ra ở loại bơm cột nước cao dùng piston thường có một hệ thống cần bơm gắn với piston dài và khá nặng. Nếu không có những giải pháp cụ thể, hệ thống này thường làm cho quá trình khởi động bơm trở nên khó khăn và làm giảm hiệu suất bơm đáng kể. Dùng lò xo hoặc đối trọng là các giải pháp có thể đem lại hiệu quả tốt.



Hình 7.19- Bơm cột nước cao dùng động cơ gió.

Như trên đã nêu, để tránh cho động cơ gió phát điện khỏi hư hại khi có gió lớn và bão, người ta thường sử dụng đuôi lái phụ đặt vuông góc với hướng gió và đuôi lái chính. Khi tốc độ gió vượt quá mức cho phép, đuôi lái phụ sẽ làm bánh công tác quay nghiêng một góc so với hướng gió. Gió càng mạnh góc này càng lớn. Tuy nhiên so với động cơ gió phát điện, động cơ gió bơm nước thường chịu bão rất kém. Do đó khi có gió mạnh hoặc bão, cần kịp thời quay cho bánh công tác dọc theo hướng gió rồi phanh lại. Khi có bão quá mạnh cần dùng tời cáp để hạ toàn bộ động cơ gió xuống mặt đất để tránh bão.

Chương 8

CÁC NGUỒN NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO TIỀM NĂNG KHÁC

8.1- NĂNG LƯỢNG SINH KHỐI

8.1.1- Sinh khối và năng lượng sinh khối

Sinh khối (Biomass) bao gồm các loài thực vật sinh trưởng và phát triển trên cạn cũng như ở dưới nước, các phế thải hữu cơ (như rơm rạ, vỏ trấu, bã mía, vỏ cà phê,...), các loại phế thải động vật (như phân người, giá súc, gia cầm,...). Sinh khối là nguồn năng lượng đầu tiên của loài người. Và mặc dù hiện nay các nguồn năng lượng hoá thạch như than đá, dầu mỏ, khí đốt là các nguồn năng lượng chính nhưng sinh khối vẫn còn được sử dụng với một khối lượng và tỷ lệ khá lớn, nhất là ở các nước đang phát triển.

Sinh khối là một nguồn năng lượng có khả năng tái sinh. Nó tồn tại và phát triển được trên hành tinh chúng ta là nhờ có sánh sáng Mặt Trời. Các loại thực vật hấp thụ ánh sánh mặt trời để thực hiện các phản ứng quang hợp, biến đổi các khoáng chất, nước và các nguyên tố vô cơ khác thành các chất hữu cơ. Trong quá trình quang hợp, thực vật còn hấp thụ khí cácbonic CO_2 và tạo ra Oxy O2 là chất khí tạo ra sự sống trên Quả Đất này. Các tính toán cho thấy rằng, hàng năm thực vật hấp thụ 0,1% tổng năng lượng bức xạ Mặt Trời tới Quả Đất, và nhờ phản ứng quang hợp , tạo ra 2×10^{11} tấn chất hữu cơ và cho một nguồn năng lượng rất lớn, khoảng 3.10^{12}J.

Phần lớn các nước đang phát triển, trong đó có Việt Nam ta, được thiên nhiên ban tặng cho nguồn tài nguyên năng lượng Mặt Trời rất dồi dào. Ở các nước này mật độ năng lượng Mặt Trời khá cao, nằm trong khoảng từ 4 đến 7kWh/m^2.ngày, là điều kiện rất thuận lợi cho thực vật phát triển.

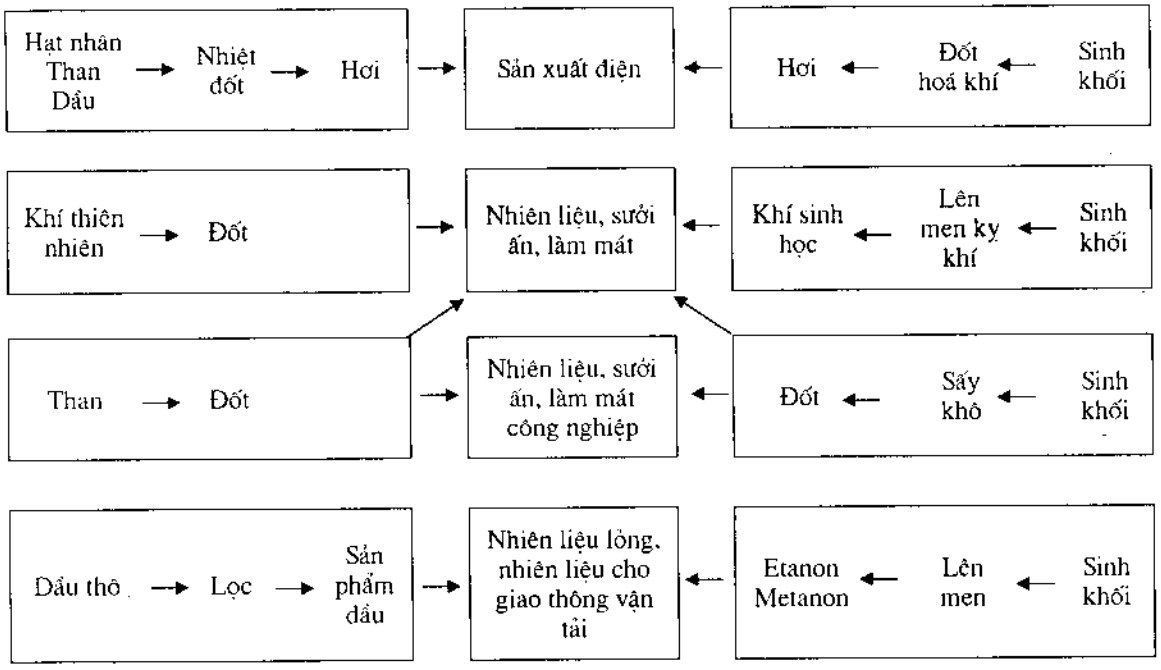
Phản ứng quang hợp còn là phản ứng cơ bản tạo ra thức ăn cho động vật. Nếu kể đến cả sản phẩm oxy của phản ứng quang hợp ta có thể nói rằng sinh khối nói chung và thực vật nói riêng có ý nghĩa quyết định đối với sự sống trên hành tinh chúng ta.

Năng lượng sinh khối hoàn toàn có thể thay thế các nguồn năng lượng hoá thạch đang bị

khai thác cạn kiệt và gây ra ô nhiễm môi trường nặng nề. Bảng 8.1 sau cho ta thấy khả năng thay thế các nhu cầu năng lượng của con người.

Người ta thường phân loại sinh khối thành 2 nhóm, sinh khối trên cạn và sinh khối dưới nước. Sinh khối trên cạn bao gồm các thực vật trên cạn như các loại cây cỏ xanh, các phế phẩm thực vật nông lâm công nghiệp (rơm rạ, bã mía, vỏ trấu, vỏ cà phê...) cũng như các phế thải động vật trên cạn (như phân người, gia súc, gia cầm,v.v...), các sinh khối dưới nước gồm các cây cỏ, rêu, tảo, bèo, v.v... sinh sống và phát triển dưới nước như trong các ao hồ, đầm lầy, sông suối và các đại dương.

Bảng 8.1. **Năng lượng Sinh khối có thể thay thế các dạng năng lượng hoá thạch**



8.1.2- Các công nghệ biến đổi sinh khối

Có 2 công nghệ để làm biến đổi sinh khối ra các dạng năng lượng. Đó là công nghệ nhiệt hoá và công nghệ sinh hoá. Công nghệ sinh hoá sử dụng các phản ứng lên men sinh khối như lên men rượu, lên men kỵ khí nhờ các chủng loại vi sinh để biến đổi sinh khối ở áp suất và nhiệt độ thấp thành các loại nhiên liệu khí (khí sinh học) hoặc lỏng (ethanol, methanol,...). Ngược lại công nghệ nhiệt hoá sử dụng các quá trình nhiệt độ cao để biến đổi sinh khối nhờ các quá trình đốt cháy, nhiệt phân, khí hoá, chất lỏng. Bảng 8.2 tóm tắt các quá trình biến đổi sinh khối.

8.1.2.1- Các công nghệ nhiệt hoá

a. Đốt cháy trực tiếp

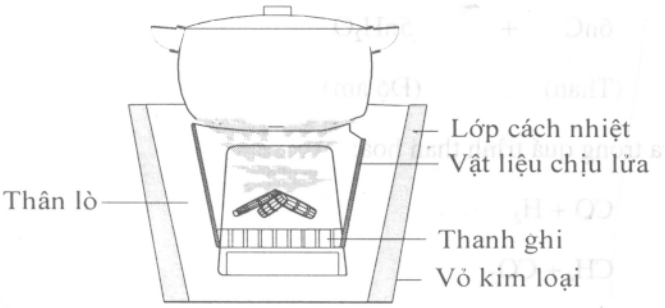
Đốt cháy trực tiếp là công nghệ đơn giản nhất để biến đổi sinh khối rắn (như gỗ, củi, phế thải nông công nghiệp,..) thành nhiệt năng. Để thực hiện quá trình này, người ta đốt sinh khối trong các thiết bị được gọi là bếp hay lò ở nhiệt độ cao. Quá trình cháy được duy trì nhờ có dòng không khí thổi qua bếp hay lò. Lưu lượng dòng không khí và tính chất của sinh khối (loại sinh khối, độ khô, ...) quyết định hiệu suất của quá trình đốt cháy. Nói chung công nghệ đốt cháy trực tiếp cho hiệu suất thấp vì năng lượng bị mất mát khá nhiều do bức xạ nhiệt ra mọi phía xung quanh thiết bị đốt. Ngoài ra một phần năng lượng cũng bị mất mát do quá trình làm bay hơi nước (độ ẩm) và các loại dầu, đấm trong sinh khối.

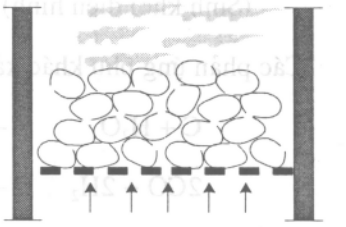
***Bảng 8.2.* Các công nghệ biến đổi năng lượng sinh khối**

	Quá trình tổng quát	Quá trình riêng	Sản phẩm chính	Thay thế nhiên liệu hoá thạch
Sinh khối	Biến đổi sinh hoá học	Lên men rượu	Ethanol	Xăng, phụ gia diezen
		Lên men kỵ khí	Khí sinh học (biogas)	Xăng, diezen, khí đốt hoá lỏng, khí đốt
	Biến đổi nhiệt hoá	Đốt trực tiếp	Nhiệt	Than, dầu, khí đốt
		Than (cacbon) hoá	Than củi	Than, dầu, khí đốt
		Khí hoá	Khí tổng hợp, Methanol	Dầu, xăng
		Nhiệt phân (pyrolysic)	Than gỗ và khí tổng hợp, dầu gỗ	Xăng, dầu hoả, khí đốt

Để nâng cao hiệu suất đốt người ta thường phải xử lý sơ bộ sinh khối như sấy khô, chặt nhỏ, đóng bánh, v.v... và thiết kế, chế tạo các loại lò hay bếp với tổn hao năng lượng thấp và làm cháy hết sinh khối.

Hiện nay các lò, bếp đốt có kích cỡ, hình dáng rất khác nhau tuỳ vào mục đích sử dụng và tập quán. Riêng về kích cỡ các bếp lò có thể nhỏ như các bếp lò dùng trong các gia đình (hình 8.1) hay rất lớn có thể đốt hàng chục hay hàng trăm mét khối sinh khối như các lò đốt trong các nhà máy điện dùng rác thải. Hình 8.2 là tiết diện ngang của một lò đốt công nghiệp nạp nhiên liệu sinh khối từng mẻ một.





Hình 8.1- Bếp đun nấu trong gia đình. *Hình 8.2*- Lò đốt sinh khối công nghiệp.

b. Than hoá (cácbon hoá): là quá trình biến đổi sinh khối (gỗ) thành than (than gỗ) nhờ đốt sinh khối ở nhiệt độ cao và trong điều kiện thiếu không khí. Quá trình này diễn ra qua 4 giai đoạn:

- *Sấy khô sinh khối:* trong giai đoạn này sinh khối thu nhiệt để làm bay hơi nước. Quá trình xảy ra ở trong khoảng nhiệt độ từ 100°C đến 200°C.

- *Giai đoạn trước than hoá:* giai đoạn này xảy ra ở khoảng nhiệt độ 170°C đến 300°C. Sinh khối thu nhiệt và thải ra một số chất lỏng- được gọi chung là *dấm gỗ*- như methanol, axit axetic và một lượng nhỏ cacbon oxit (CO) và cacbon dioxit (CO_2).

- *Giai đoạn toả nhiệt* : xảy ra ở khoảng nhiệt độ 250°C đến 300°C. Phần lớn các chất hắc ín nhẹ và các dấm gỗ (nước chua sinh ra khi nhiệt phân gỗ) như axit etanoic, methanol, axetic,v.v... được giải phóng ra khỏi sinh khối. Giai đoạn này tiếp tục cho đến khi chỉ còn lại phần than gỗ.

- *Giai đoạn cuối* : xảy ra khoảng nhiệt độ trên 300°C. Trong giai đoạn này hàm lượng các bon của sinh khối tăng lên vì các chất bốc hơi đã bay hơi hết. Nhiệt độ tối đa của giai đoạn này là khoảng 500°C.

Sau các quá trình trên cần có một quá trình làm nguội và phơi ở ngoài không khí ít nhất là một ngày đêm để ổn định than và giảm khả năng bốc cháy, đảm bảo an toàn việc vận chuyển, đóng gói.

Nhiệt trị than gỗ đạt giá trị khoảng 7100 kcal/kg, trong khi nhiệt trị của củi phơi khô ngoài trời là khoảng 3600 đến 3800 kcal/kg. Như vậy về mặt năng lượng, than gỗ cho năng lượng lớn gấp 2 lần so với củi khô và về mặt thể tích thì cùng một năng lượng, thể tích than củi chỉ bằng 1/ 2 so với củi.

Các phản ứng chính của quá trình than hoá sinh khối có thể tóm tắt như sau:

$$C_{6n}(H_2O)_{5n} \rightarrow 6nC + 5nH_2O$$

(Sinh khối điển hình) (Than) (Độ ẩm)

Các phản ứng phụ khác xảy ra trong quá trình than hoá:

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

$$2CO + 2H_2 \rightarrow CH_4 + CO_2$$

$$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$$

$$C + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 2H_2$$

c. Nhiệt phân (pyrolysic): Nhiệt phân là quá trình tương tự như quá trình than hoá. Điều khác nhau giữa 2 quá trình này là nhiệt phân được thực hiện ở nhiệt độ cao hơn và ngoài sản phẩm than gỗ (chiếm 25%) người ta còn thu thêm được các sản phẩm chất lỏng cháy khác là dầu gỗ (15%), axit pyrolic (45%) và khí gỗ (15%). Cũng như than gỗ, các chất lỏng và khí thu được trong quá trình nhiệt phân là các nhiên liệu rất tốt.

d. Khí hoá sinh khối: là quá trình biến đổi sinh khối thành một khí cháy có nhiệt trị trung bình hay thấp (4 – 6 MJ/m^3). Nhiên liệu khí có nhiều ưu điểm so với nhiên liệu rắn như cháy với hiệu suất cao hơn, ít phát thải hơn, dễ điều chỉnh quá trình cháy, vận chuyển và sử dụng đơn giản.

Sơ đồ 8.3 trình bày các công nghệ khí hoá sinh khối và các sản phẩm của nó. Để khí hoá sinh khối người ta có thể dùng không khí, oxy, hydro hay nhiệt phân.

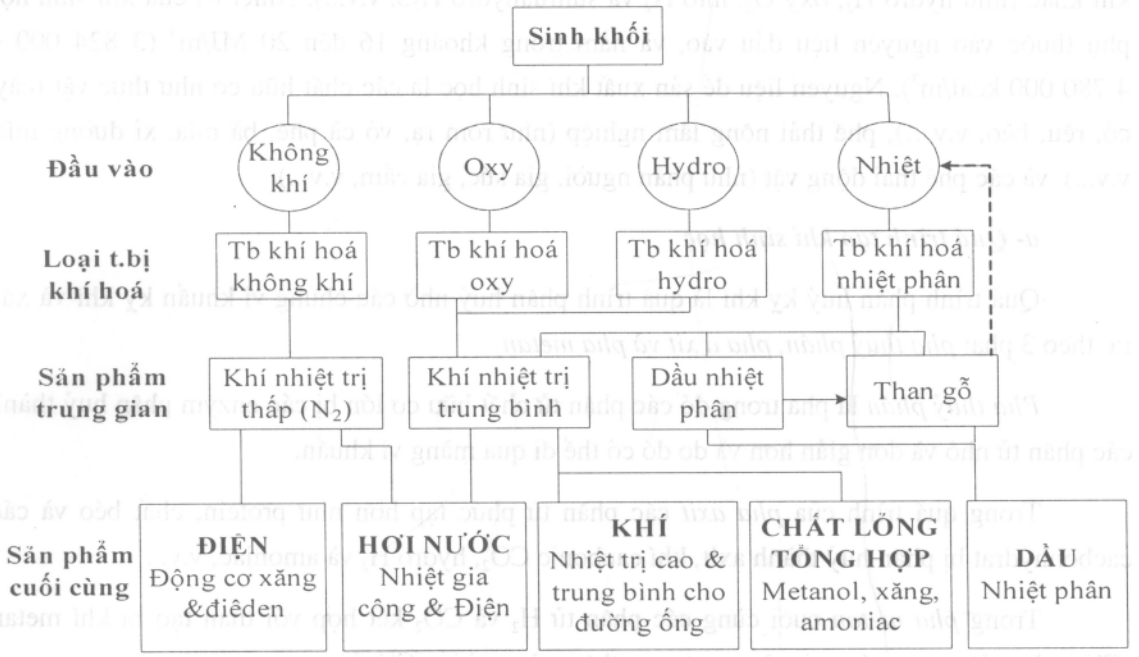
Khí hoá dùng không khí : là dạng khí hoá đơn giản nhất, trong đó than hình thành do quá trình nhiệt phân được đốt với một lượng không khí hạn chế theo tỷ lệ khoảng 0,25, tức là dùng 1,6g không khí cho 1g sinh khối để tạo ra một chất khí cháy tốt. Hình 8.4 là sơ đồ một kiểu lò để hoá khí sinh khối dùng không khí.

Hoá khí dùng oxy: Oxy được dùng để hoá khí sinh khối. Ưu điểm là tạo ra sản phẩm khí sinh khối có nhiệt trị trung bình (2669 ÷ 3559 kcal/m^3). Khí này có thể sử dụng trực tiếp làm nhiên liệu hoặc tổng hợp thành methanol, amoniac, xăng hay metan.

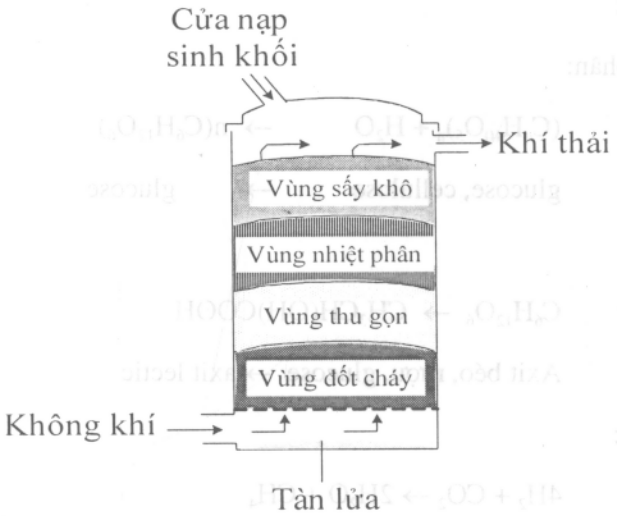
Khí hoá hydro: Hydro có thể dùng ở áp suất rất cao để làm thay đổi thành phần của sinh khối. Quá trình này dẫn đến sự hình thành các chất lỏng hay khí phụ thuộc vào các điều kiện phản ứng. Công nghệ này sẽ rất hấp dẫn nếu có sẵn hydro.

Hoá khí nhiệt phân: Khí hoá không khí có nhược điểm cho sản phẩm khí có nhiệt trị thấp. Khí hoá oxy cho khí có nhiệt trị trung bình, nhưng oxy lại là khí đắt tiền. Dùng công nghệ nhiệt phân có nhiều ưu điểm. Vì sinh khối có hàm lượng chất dễ bay hơi cao hơn than đá nên có

thể nhiệt phân để tạo ra một loại khí có nhiệt trị trung bình chứa metan và nhiều hydrocacbua hơn. Nhược điểm của quá trình nhiệt phân là thải ra một lượng than và dầu khó sử dụng.



Hình 8.3- Các quá trình khí hoá và các loại thiết bị khí hoá sinh khối.



Hình 8.4- Sơ đồ một kiểu lò để hoá khí sinh khối dùng không khí.

8.1.2.2- Công nghệ biến đổi sinh hoá

Công nghệ biến đổi sinh hoá điển hình là công nghệ khí sinh học (biogas). Khí sinh học

được tạo ra nhờ các quá trình phân huỷ lên men kỵ khí của các chất hữu cơ. Khí sinh học là một hỗn hợp khí cháy gồm khoảng 60% metan (CH_4), 30% khí cacbonic (CO_2) và khoảng 10% các khí khác (như hydro H_2, oxy O_2, nitơ N_2 và sunfuahydro H_2S, v.v...). Nhiệt trị của khí sinh học phụ thuộc vào nguyên liệu đầu vào, và nằm trong khoảng 16 đến 20 MJ/m^3 (3 824 000 ÷ 4 780 000 kcal/m^3). Nguyên liệu để sản xuất khí sinh học là các chất hữu cơ như thực vật (cây, cỏ, rêu, bèo, v.v...), phế thải nông lâm nghiệp (như rơm rạ, vỏ cà phê, bã mía, xỉ đường mía, v.v...) và các phế thải động vật (như phân người, gia súc, gia cầm, v.v...).

a- Quá trình tạo khí sinh học

Quá trình phân huỷ kỵ khí là quá trình phân huỷ nhờ các chủng vi khuẩn kỵ khí và xảy ra theo 3 pha: *pha thuỷ phân, pha a xit và pha metan*

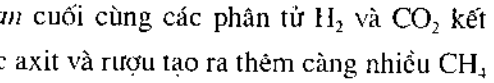
Pha thuỷ phân là pha trong đó các phân tử chất hữu cơ lớn bị các enzym phân huỷ thành các phân tử nhỏ và đơn giản hơn và do đó có thể đi qua màng vi khuẩn.

Trong quá trình của *pha axit* các phân tử phức tạp hơn như protein, chất béo và các cacbonhydrat bị phân huỷ thành axit, khí cacbonic CO_2, hydro H_2 và amoniac, v.v...

Trong *pha metan* cuối cùng các phân tử H_2 và CO_2 kết hợp với than tạo ra khí metan (CH_4) và sự lên men các axit và rượu tạo ra thêm càng nhiều CH_4 hơn.

Một ví dụ điển hình của quá trình sản xuất CH_4 dùng nguyên liệu cellulo xảy ra theo các phản ứng chính sau:

- Pha thuỷ phân:



$$(C_6H_{10}O_5)_n + H_2O \rightarrow n(C_6H_{12}O_6)$$

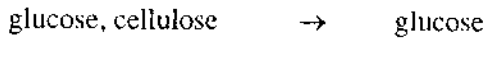
glucose, cellulose → glucose

- Pha axit

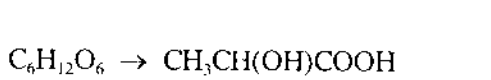
$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH(OH)COOH$$

Axit béo, rượu, glucose → axit lectic

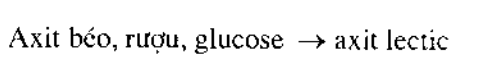
- Pha metan:



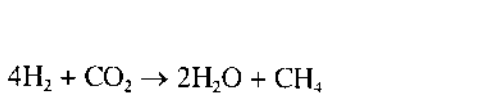
$$4H_2 + CO_2 \rightarrow 2H_2O + CH_4$$



$$CH_3CH_2OH + CO_2 \rightarrow CH_3COOH + CH_4$$



$$CH_3COOH \rightarrow CO_2 + CH_4$$



$$CH_3CH_2CH_2COOH + H_2O + CO_2 \rightarrow CH_3COOH + CH_4$$

Trong *hầm khí sinh học* tất cả 3 pha trên tồn tại đồng thời. Nếu bất kỳ một trong các pha trên vượt trội thì quá trình tạo thành CH_4 sẽ bị ảnh hưởng đáng kể.

Người ta thấy có 4 nhóm vi khuẩn kỵ khí tạo khí metan. Các loại vi khuẩn này rất nhạy với nhiệt độ. Nhiệt độ hoạt động tối ưu của chúng là 35°C.

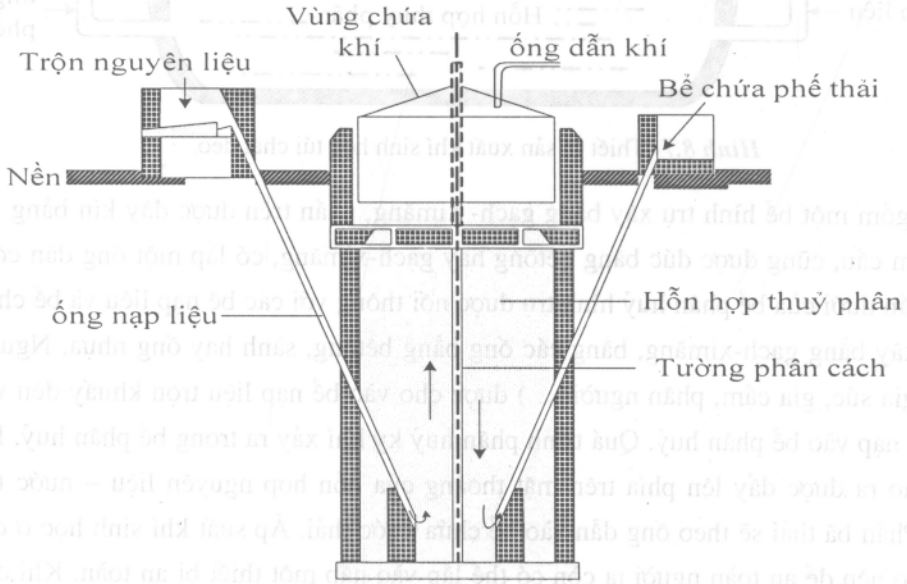
b- Hầm khí sinh học

Hầm khí sinh học là thiết bị thực hiện quá trình biến đổi sinh khối thành khí sinh học. Một trong những yêu cầu quan trọng nhất đối với hầm khí sinh học là phải kín khí để các chủng vi khuẩn kỵ khí hoạt động bình thường tạo ra metan.

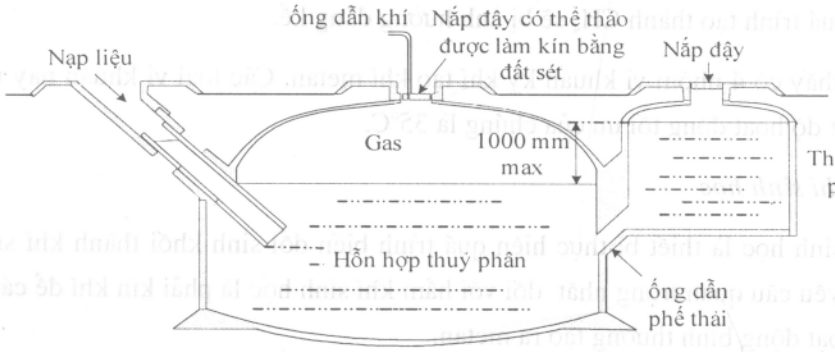
Hiện nay có nhiều thiết kế hầm khí sinh học. Đó là hầm có nắp trôi nổi, hầm có nắp cố định và hầm làm bằng chất dẻo.

Nhưng dù kiểu hầm có khác nhau nhưng chúng đều phải có 4 thành phần cơ bản sau đây:

- Cửa nạp nguyên liệu.
- Buồng lên men, phân huỷ và tạo khí.
- Buồng chứa khí.
- Cửa cho phế thải ra ngoài.

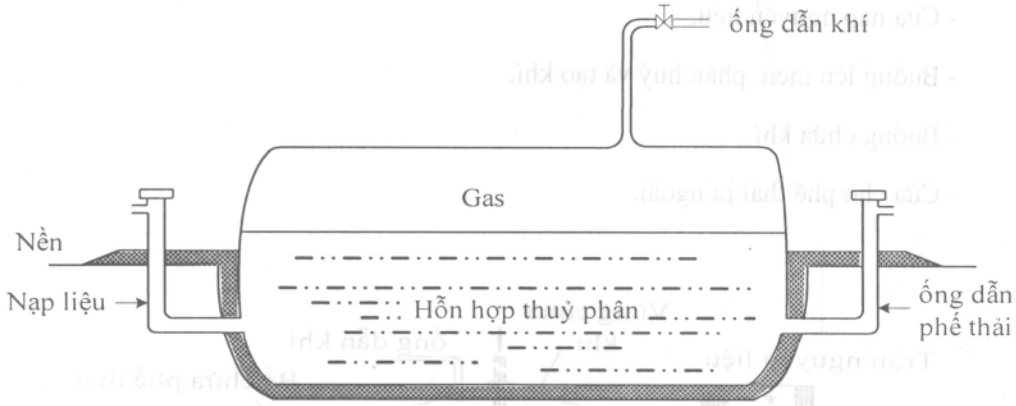


Hình 8.5- Hầm sinh khối có nắp trôi nổi.



Hình 8.6- Hầm sinh khối nắp cố định.

Để ví dụ ta hãy xem xét một hầm khí sinh học kiểu nắp cố định (hình 8.6) là loại thông dụng nhất ở nước ta cũng như trên thế giới. Nguồn gốc của loại hầm này là từ Trung Quốc.



Hình 8.7- Thiết bị sản xuất khí sinh học túi chất dẻo.

Nó gồm một bể hình trụ xây bằng gạch- ximăng, phần trên được đậy kín bằng một nắp có dạng vòm cầu, cũng được đúc bằng bêtông hay gạch-ximăng, có lắp một ống dẫn có van để lấy khí . Phần dưới của bể phân huỷ hình trụ được nối thông với các bể nạp liệu và bể chứa nước thải, cũng xây bằng gạch-ximăng, bằng các ống bằng bêtông, sành hay ống nhựa. Nguyên liệu (như phân gia súc, gia cầm, phân người,...) được cho vào bể nạp liệu trộn khuấy đều với nước và theo ống nạp vào bể phân huỷ. Quá trình phân huỷ kỵ khí xảy ra trong bể phân huỷ. Khí sinh học được tạo ra được đẩy lên phía trên mặt thoáng của hỗn hợp nguyên liệu – nước trong bể phân huỷ. Phần bã thải sẽ theo ống dẫn vào bể chứa nước thải. Áp suất khí sinh học ở dưới nắp hầm khá cao nên để an toàn người ta còn có thể lắp vào nắp một thiết bị an toàn. Khi dùng khí người ta dùng một đường ống bằng kim loại, bằng nhựa cứng hay ống chất dẻo nối từ ống lấy khí ở nắp hầm đến bếp đun, đèn thắp sáng hay các thiết bị sử dụng khác.

Quy mô của hầm có thể vài ba mét khối đến hàng trăm mét khối phụ thuộc vào nguồn nguyên liệu và nhu cầu sử dụng khí. Năng suất sản xuất khí của hầm phụ thuộc rất lớn vào nguyên liệu đầu vào. Bảng 8.3 cho ta một khái niệm về sự phụ thuộc này.

Khí sinh học có rất nhiều ứng dụng như thắp sáng, dùng làm nhiên liệu đun nấu, phát điện, v.v... Ngoài ra công nghệ khí sinh học còn là một công nghệ làm sạch môi trường.

***Bảng 8.3*- Năng suất khí sinh học phụ thuộc vào nguyên liệu đầu vào**

Loại nguyên liệu	Khả năng cung cấp hàng ngày (kg)	Năng suất khí có thể được sản xuất ra (kg/m^3)	Tỷ suất sinh khí (m^3/ con.ngày)
Phân trâu, bò	10	0,036	0,364
Phân người	0,4	0,070	0,028
Phân lợn (45 kg)	2, 25	0,784	0,176
Phân gia cầm (gà, vịt, ngan, ngỗng,..., 2kg)	0,18	0,062	0,011

8.2- NĂNG LƯỢNG ĐỊA NHIỆT

8.2.1- Nguồn năng lượng địa nhiệt

Địa nhiệt là nguồn năng lượng nhiệt tự nhiên ở trong lòng Quả Đất. Dưới lớp vỏ không dày lắm của Quả Đất, nhiệt độ lên đến từ 1000°C đến hơn 4000°C. Ở một số khu vực áp suất dưới lớp vỏ này cũng rất lớn , vượt quá 130MPa.

Người ta xác định rằng, năng lượng địa nhiệt được tạo ra do các quá trình phản ứng phóng xạ hạt nhân của các nguyên tố phóng xạ nặng có trong lòng Quả Đất như thori (Th), protactini (Pa), urani (U), v.v... Năng lượng do các phản ứng phóng xạ được tích tụ trong lòng Quả Đất hàng triệu năm với một lượng khổng lồ làm nóng chảy lõi Quả Đất ở nhiệt độ khoảng 4000°C dưới áp suất rất cao. Người ta thấy rằng hỗn hợp nóng chảy của niken (Ni) và sắt (Fe) trong lòng Quả Đất được bao bọc bằng một lớp vỏ đá nóng chảy có nhiệt độ khoảng 1000°C. Lớp vỏ Quả Đất được hợp thành từ 9 mảnh, hơn nữa các mảnh này có thể dịch chuyển được. Khi các mảnh này chuyển động gây ra "sự trôi", dẫn đến sự va chạm giữa các mảnh ở một số khu vực nào đó của vỏ Quả Đất, làm dịch chuyển các mảnh còn lại. Các hoạt động dịch chuyển này của vỏ Quả Đất có thể dẫn đến trường hợp hai mảnh lục địa nhập lại với nhau tạo ra hàng loạt các phản ứng hoá học, trong đó có phản ứng kết hợp nước và các chất khác dẫn đến sự tạo thành các túi đá nóng chảy rất lớn được gọi là túi magma. Các túi magma bị đẩy nổi lên qua lớp vỏ Quả Đất và thường dẫn đến các hoạt động phun trào của núi lửa. Ngoài ra, đá nóng chảy cũng có thể nổi lên qua lớp vỏ Quả Đất ở những nơi mà các mảnh vỏ chuyển động tách rời nhau ra hoặc

ở các khu vực vỏ Quả Đất mỏng. Núi lửa, các nguồn nước nóng, các mạch nước phun trào, các lỗ phun hơi nóng từ lòng đất ra,v.v... là các hiện tượng tự nhiên cho chúng ta thấy có các nguồn năng lượng địa nhiệt ở gần bề mặt vỏ Quả Đất. Ở các khu vực này, nếu tính toán cho thấy có hiệu quả kinh tế, người ta có thể khoan để khai thác năng lượng địa nhiệt. Năng lượng địa nhiệt còn được tạo ra do ma sát khi hai mảnh vỏ Quả Đất dịch chuyển mà một mảnh chuyển động trượt trên mảnh kia.

Theo đánh giá của các chuyên gia, có khoảng 10% diện tích vỏ Quả Đất có chứa các nguồn địa nhiệt có thể đánh giá được tiềm năng năng lượng của nó. Các nguồn này có thể cung cấp cho nhân loại một nguồn năng lượng rất lớn. Bảng 8.4 cho thấy tiềm năng địa nhiệt ở các nước trên thế giới.

Bảng 8.4. **Ước tính năng lượng địa nhiệt ở một số nước trên thế giới**

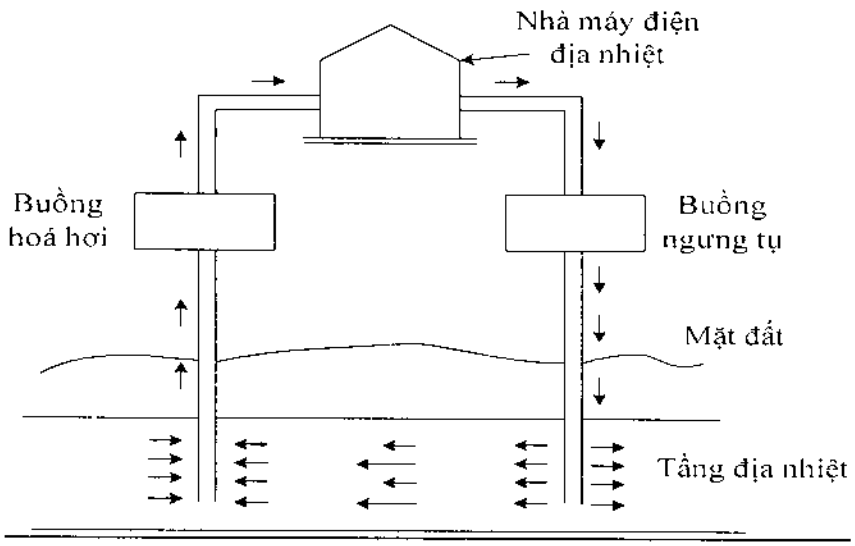
Tên nước	Tiềm năng (MW)	Tên nước	Tiềm năng (MW)
Achentina	19 950	Kenya	79 450
Bolivia	63 100	Triều Tiên (Bắc & Nam)	79 450
Camerun	15 150	Mexico	157 050
Canada	446 700	Morocco	19 950
Chilê	30 300	New Zealand	30 900
Trung Quốc	537 050	Nicaragua	33 900
Columbia	77 650	Peru	302 000
Costarica	12 600	Philippines	67 600
Ecuador	100 000	Bồ Đào Nha	1 000
El Sanvado	5 000	Arập Xeut	15 800
Ethiopia	154 900	Liên Xô cũ	239 900
Hylạp	8 900	Đài Loan	8 150
Guadeloupe	387	Tanzania	6 200
Honduras	12 600	Thổ Nhĩ Kỳ	87 100
Iceland	22 900	Mỹ	501 200
Ấn Độ	15 200	Venezuela	39 800
Indonexia	436 500	Việt Nam	37 150
Italia	33 900	Nhật Bản	79 450
Iran	75 850		

Nguồn tài liệu: US Geothermal Technology Equipment and Services for Worldwide Application, US Department of Energy, ID- 10130, 1985, p.4.

Có 5 loại nguồn địa nhiệt. Đó là: nguồn nước nóng, nguồn áp suất địa nhiệt, nguồn đá nóng khô, các núi lửa hoạt động và magma.

Nguồn nước nóng là nguồn nước bị nung nóng dưới áp suất cao, các nguồn hơi nước hay hỗn hợp của chúng ở trong các tầng đá xốp rỗ, hoặc ở trong các khe nứt gãy của đá, nó bị giữ lại bởi một lớp đá khác đặc kín và không thấm. Những nguồn (hay còn gọi là mỏ) nước nóng chất lượng cao là các nguồn chỉ chứa hơi nước có lẫn một ít nước hay chứa hoàn toàn hơi ở nhiệt độ cao hơn 240°C. Một số nguồn nước nóng có nhiệt độ cao, trong khoảng 150°C đến 200°C, nhưng khoảng 2/3 số nguồn nước nóng có nhiệt độ trung bình, từ 160°C đến 180°C.

Nguồn áp suất địa nhiệt là các nguồn chứa nước muối có nhiệt độ trung bình và chứa khí metan (CH_4) hoà tan. Các nguồn này bị vỏ Quả Đất nén lại dưới áp suất rất cao dưới các tầng trầm tích sâu và bị bao bọc bởi các lớp đất sét và trầm tích không thấm nước. Áp suất ở các nguồn này nằm trong khoảng từ 34MPa đến 140MPa và ở độ sâu từ 1500m đến 15000m. Nhiệt độ của các nguồn áp suất địa nhiệt thường ở trong khoảng 90 đến 200°C. Mỗi một thùng (barrel = 0,159m^3) chất lỏng loại này ở áp suất 69MPa và 150°C có thể cho ta 0,6 đến 1,4m^3 khí metan (CH_4).



Hình 8.8- Nguyên lý hoạt động của nhà máy điện địa nhiệt.

Các nguồn đá nóng khô bao gồm các khối đá ở nhiệt độ cao, từ 90°C đến 650°C. Các nguồn đá này có thể bị nứt gãy nên có thể chứa một ít hoặc không có nước nóng. Để khai thác nguồn địa nhiệt này người ta khoan sâu đến tầng đá, tạo ra các nứt gãy nhân tạo, sau đó sử dụng một chất lỏng nào đó làm chất vận chuyển nhiệt bơm qua tầng đá đã bị làm nứt gãy để thu nhiệt. Chất lỏng làm việc thường hoạt động theo các chu trình kín như hình 8.8. Tuy nhiên việc khai thác năng lượng địa nhiệt từ các nguồn đá nóng khô rất khó khăn và hiệu quả kinh tế không cao so với việc khai thác các nguồn địa nhiệt khác.

Năng lượng địa nhiệt ở các lỗ hổng núi lửa đang hoạt động có nhiều ở trên thế giới. Magma là đá nóng chảy có nhiệt độ từ 700°C đến 1600°C. Khi còn nằm dưới vỏ Quả Đất đá nóng chảy là một phần của vỏ Quả Đất có độ dày khoảng 24 đến 48km. Các nguồn magma chứa một nguồn năng lượng khổng lồ, lớn nhất trong các nguồn địa nhiệt, nhưng nó ít khi ở gần mặt đất nên việc khai thác rất khó khăn.

8.2.2- Các phát triển kỹ thuật

Nhiệt từ các nguồn hay mỏ địa nhiệt có thể khai thác nhờ sử dụng một chất lỏng tự nhiên của Quả Đất để làm chất làm việc vận chuyển nhiệt. Năng lượng nhiệt này có thể cho qua tuabin để phát điện hoặc dùng một cách trực tiếp cho các quá trình gia nhiệt hoặc chế biến nhiệt công nghiệp. Để khai thác các nguồn địa nhiệt người ta thường sử dụng phương pháp khoan như khai thác dầu hay khí đốt.

Đối với các nguồn địa nhiệt nông và nhiệt độ không cao (thấp hơn 170°C) thường người ta khai thác nhiệt một cách trực tiếp hoặc sử dụng gián tiếp qua bộ trao đổi nhiệt. Để sử dụng năng lượng địa nhiệt có hiệu quả thông thường người ta sử dụng ngay tại chỗ, nơi có nguồn địa nhiệt khai thác, vì khi dẫn nhiệt đi xa (ví dụ bằng ống dẫn) hao phí nhiệt sẽ lớn.

Để phát điện người ta có thể sử dụng một số hệ thống như : hệ thống hơi khô ; hệ thống hoá hơi đơn ; hệ thống hoá hơi kép ; hệ thống hai tầng ; hệ thống kết hợp.

a) Hệ thống hơi khô (dry steam system): Người ta lấy hơi nước từ các giếng đá khô và sau đó cho trực tiếp qua tuabin để phát điện.

b) Hệ thống hoá hơi đơn (single flash system) : Nước nóng từ nguồn địa nhiệt được làm bốc hơi theo kiểu xung (nổ) và sau đó dẫn qua tuabin phát điện. Nước thải còn lại được đưa trở lại nguồn (mỏ) địa nhiệt.

c) Hệ thống hoá hơi kép (dual flash system): Trong hệ thống này hơi nước được tạo ra trong 2 giai đoạn để tận dụng được nhiều hơn năng lượng địa nhiệt. Trong giai đoạn 1 hơi nước được tách ra khỏi hỗn hợp nước nóng và hơi khi lấy dưới mỏ lên và cho qua tuabin phát điện. Nước nóng được tách ra lại được hoá hơi theo kiểu xung và lại được cho qua tuabin phát điện. Cuối cùng nước nóng thải còn lại được bơm trở lại nguồn địa nhiệt.

d) Hệ thống 2 tầng: Để tránh được hiện tượng ăn mòn và đóng cặn sinh ra khi chất lỏng địa nhiệt đi trực tiếp qua hệ thống phát điện người ta dùng hệ thống 2 tầng nhờ bộ trao đổi nhiệt. Ở tầng thứ nhất chất lỏng địa nhiệt được bơm từ giếng lên, đi qua bộ trao đổi nhiệt để truyền nhiệt cho chất lỏng làm việc, sau đó nó được làm ngưng tụ và cho trở về nguồn địa nhiệt. Ở tầng thứ 2, một chất lỏng khác hoạt động theo chu trình kín, nhận nhiệt ở bộ trao đổi nhiệt, tới tuabin phát điện, qua bộ ngưng tụ, trở về bộ trao đổi nhiệt. Các nhà máy điện địa nhiệt hoạt động theo

hệ thống 2 tầng này có thể được thiết kế theo nhiều kiểu khác nhau để tận dụng tối đa nguồn năng lượng địa nhiệt. Ví dụ như chất lỏng làm việc (trong chu trình thứ 2) có thể được cho hoá hơi trong các giai đoạn có áp suất và nhiệt độ khác nhau. Nhiệt năng từ bộ ngưng tụ chất lỏng làm việc lại có thể sử dụng để làm bốc hơi một chất lỏng làm việc thứ 2 và do đó công suất phát điện được tăng lên.

e) Hệ thống kết hợp : là hệ thống sử dụng đồng thời cả hơi nước và áp suất địa nhiệt. Trong hệ thống này hơi nước ở áp suất cao được dẫn qua hệ thống ống dẫn với vận tốc rất lớn và cho xả vào các tuabin hơi để phát điện. Động năng rất lớn của các dòng hơi trong các ống qua tuabin đã được chuyển thành điện năng.

8.2.3- Ứng dụng khác của địa nhiệt

Năng lượng địa nhiệt có nhiệt độ thấp hay trung bình có thể dùng để sưởi ấm hay sản xuất nước nóng cho các mục đích sinh hoạt trong các gia đình hay các cơ sở công cộng như trường học, bệnh viện, nhà hàng, khách sạn,v.v...

Các chất lỏng địa nhiệt cũng được dùng để tạo ra nguồn nhiệt cho các quá trình công nghiệp như sản xuất hoá chất hay đun nấu. Nhiệt và hơi nước từ nguồn địa nhiệt cũng được sử dụng cho công nghiệp thực phẩm, sản xuất hàng hoá tiêu dùng, sưởi ấm chuồng trại chăn nuôi gia súc, gia cầm hay sử dụng trong các nhà kính trồng rau qủa,v.v...Năng lượng địa nhiệt có thể dùng quay các động cơ tạo ra cơ năng.

Nhưng ứng dụng quan trọng nhất của năng lượng địa nhiệt là phát điện. Điện từ nhà máy địa nhiệt có thể hoà mạng lưới điện quốc gia hoặc cũng có thể cấp điện cho hoạt động sản xuất, kinh doanh tại chỗ. Vì nguồn năng lượng địa nhiệt khá ổn định, không bị thay đổi theo ngày hay mùa nên điện địa nhiệt có thể cung cấp cho hệ thống tải tiêu thụ ổn định hoặc là một cơ sở cấp điện rẻ tiền cho phụ tải ở các thời gian cao điểm.

Metan từ nguồn áp suất địa nhiệt có thể dùng làm nhiên liệu đốt để sản xuất nước hay hơi địa nhiệt có áp suất siêu cao để chạy các tuabin phát điện với hiệu suất cao. Nó cũng có thể dùng làm nguyên liệu trong các quá trình sản xuất hoá chất. Trong các chất lỏng địa nhiệt còn chứa nhiều kim loại và khoáng chất quý như kali cacbonat, bạc, bo, chì, kẽm, lithi, v.v...Thu hồi các chất này khi khai thác các nguồn địa nhiệt cũng là một nguồn sản phẩm phụ rất có giá trị.

8.3- NĂNG LƯỢNG ĐẠI DƯƠNG

Tiềm năng năng lượng của các đại dương chứa trong sóng và thuỷ triều cũng như trong sự chênh lệch nhiệt độ giữa lớp nước nóng trên bề mặt và các lớp nước lạnh ở dưới đáy các đại dương là vô cùng to lớn.

Gió thổi mạnh trên một khoảng không gian bao la trên các đại dương tạo ra sóng biển dữ dội và liên tục và mang theo một nguồn năng lượng có thể nói là vô tận. Thuỷ triều là kết quả của lực hút của Mặt Trời, Mặt Trăng đối với Quả Đất và do sự chuyển động của Quả Đất xung quanh Mặt Trời và sự quay xung quanh trục nghiêng của Quả Đất. Ở một số khu vực trên thế giới, mức nước biển dâng lên và hạ xuống trên 12m hai lần trong một ngày. Đại dương còn là một bộ thu năng lượng khổng lồ, hấp thụ năng lượng Mặt Trời dưới dạng nhiệt năng làm nóng lớp nước ở bề mặt và tạo ra sự chênh lệch nhiệt độ giữa lớp nước nóng ở bề mặt và nước lạnh dưới sâu. Tiềm năng của nguồn năng lượng nhiệt này cũng rất lớn.

Dưới đây chúng ta sẽ xem xét một cách chi tiết hơn về nguồn năng lượng của các đại dương.

8.3.1- Năng lượng thuỷ triều

Như đã nói ở trên, thuỷ triều là hiện tượng nước đại dương dâng lên hạ xuống do lực hút của Mặt Trời, Mặt Trăng và sự quay của Quả Đất. Sự chuyển động tương đối của các hành tinh này tạo ra các chu kỳ thuỷ triều khác nhau như *chu kỳ nửa ngày (semi – diurual cycle), chu kỳ "con nước lớn" (spring – reap cycle), chu kỳ nửa năm (semi – annual cycle)* và các chu kỳ khác dài hơn. Các chu kỳ này ảnh hưởng đến độ chênh lệch của thuỷ triều. Để khai thác năng lượng thuỷ triều, để thiết kế và xây dựng các hệ thống năng lượng thuỷ triều, cần phải hiểu biết đầy đủ các quy luật vận động của thuỷ triều. Biên độ của các chu kỳ thuỷ triều tăng lên một cách rất đáng kể ở một số vùng biển có địa hình đặc biệt như ở các cửa sông, ở các vịnh dạng hình phễu, ở các khu vực có các đảo hay các doi đất chia mặt biển thành từng ngăn tạo ra sự phản xạ và cộng hưởng sóng biển. Ở Severn Estury (nước Anh) do có sự kết hợp của một số điều kiện địa lý đặc biệt nói trên nên ở đây có thuỷ triều cao nhất trên thế giới.

Nguyên tắc khai thác năng lượng thuỷ triều nói chung cũng giống như khai thác năng lượng các dòng sông, nhưng đối với công nghệ và kỹ thuật phát điện từ năng lượng thuỷ triều có nhiều thuận lợi hơn. Khi thuỷ triều dâng lên, các cửa kênh dẫn được mở ra để nước biển chảy vào các hồ chứa và sau đó khi thuỷ triều rút các cửa kênh được đóng lại để tạo ra một cột nước giữa mặt biển và mặt nước trong hồ. Lượng nước giữ lại trong hồ được xả dần qua tuabin để phát điện. Có nhiều hệ thống phức tạp hơn cho phép phát điện theo hai chiều của dòng nước thuỷ triều, khi lên và khi xuống.

Để điều khiển mức nước trong hồ người ta thường phải xây dựng các đập. Tuy nhiên cũng có một số phương án không sử dụng đập chắn nước. Theo phương án này người ta đặt các tuabin rất lớn vào ngay trong dòng thuỷ triều giống như đặt các tuabin gió trong các luồng gió. Ở một số vịnh, các dòng thuỷ triều chảy vào và chảy ra rất mạnh tạo ra một nguồn động năng rất lớn làm quay các tuabin phát điện. Trong trường hợp này người ta không cần xây dựng các đập

mà đặt nhiều tuabin phân tán trên một khu vực rộng. Phương pháp khai thác thuỷ triều này tuy đơn giản nhưng lại gây ra những ảnh hưởng lớn về môi trường.

Các hệ thống năng lượng thuỷ triều có hồ chứa có thể được thiết kế để hoạt động theo một trong ba phương thức sau:

- Phát điện khi triều xuống ;

- Phát điện khi triều lên, và ;

- Phát điện cả hai chiều (lúc triều lên và xuống).

a- Phát điện khi triều xuống

Khi thuỷ triều đang lên người ta mở các cửa kênh dẫn cho nước chảy qua tuabin vào hồ chứa. Đến khi mức nước thuỷ triều đạt giá trị cao nhất người ta đóng các cửa kênh để giữ lại nước trong hồ. Mức nước trong hồ được giữ cho đến khi thuỷ triều đã rút xuống tạo ra một cột nước có độ cao xác định nào đó, người ta bắt đầu mở cửa kênh cho nước qua tuabin để phát điện. Khi đó cột nước giữa mặt nước trong hồ và mặt nước biển giảm dần xuống. Người ta cho tuabin phát điện cho đến khi cột nước giảm chỉ còn khoảng một nửa so với cột nước ban đầu (thì cho tuabin ngừng phát điện). Hình 8.9 cho thấy chu trình phát điện của nhà máy điện thuỷ triều theo phương pháp này.

b- Phát điện khi triều lên

Phương thức phát điện này ngược lại với phương thức phát điện khi triều xuống. Khi thuỷ triều ở mức thấp nhất người ta cho nước trong hồ chảy ra hết theo các kênh dẫn. Sau đó đóng các kênh lại. Khi thuỷ triều lên, mức nước phía ngoài cửa kênh (ngoài biển) và mức nước trong kênh (trong hồ) ngày càng chênh lệch, tạo ra cột nước giữa hai mức nước. Đến khi thuỷ triều ở mức cao nhất thì cột nước này cũng có giá trị cực đại. Khi đó người ta mở các cửa kênh cho nước xả qua các tuabin vào hồ và tuabin phát điện. Các tuabin làm việc cho đến khi cột nước giữa mức nước biển ngoài cửa kênh và trong hồ giảm khoảng một nửa thì dừng lại. Thực tế cho thấy rằng phương thức phát điện khi triều lên cho công suất điện thấp hơn so với nhà máy điện thuỷ triều hoạt động theo phương thức phát điện khi triều xuống.

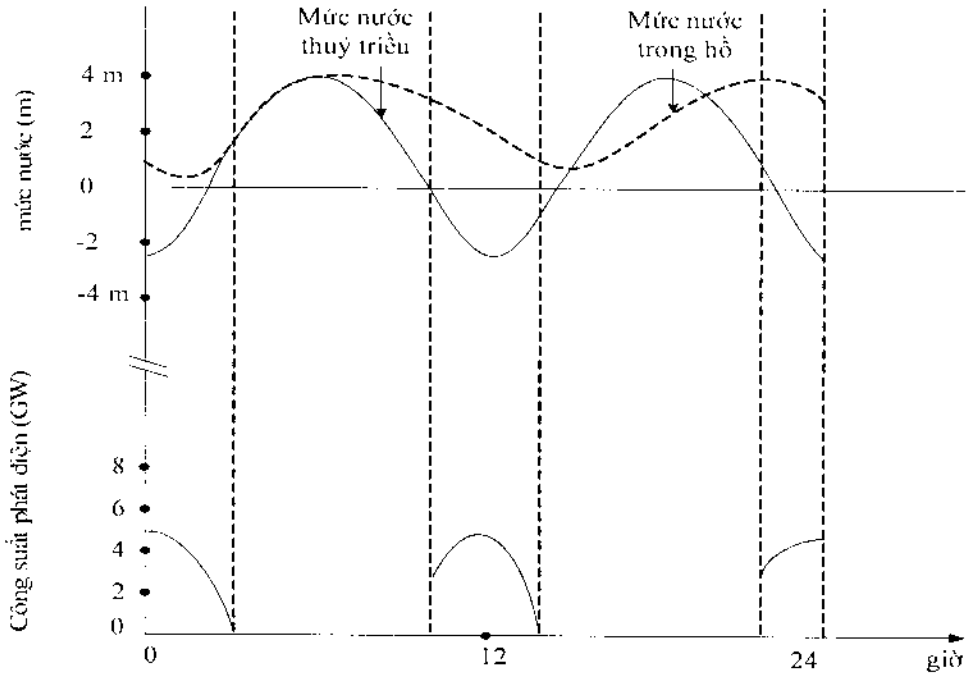
c- Phát điện cả hai chiều

Phát điện cả hai chiều là sự kết hợp cả hai phương thức phát điện nói trên. Cuối giai đoạn phát điện khi thuỷ triều xuống các cửa kênh được mở ra để làm cho mức nước trong hồ hạ thấp xuống. Đến thời điểm mức nước trong hồ đã ở mức thấp nhất, người ta lập tức chuẩn bị cho giai đoạn phát điện khi triều lên. Cũng tương tự như vậy, ở cuối giai đoạn phát điện khi triều lên người ta lại mở các kênh ngay lập tức để làm cho hồ đầy nước trước lúc chuyển sang giai đoạn

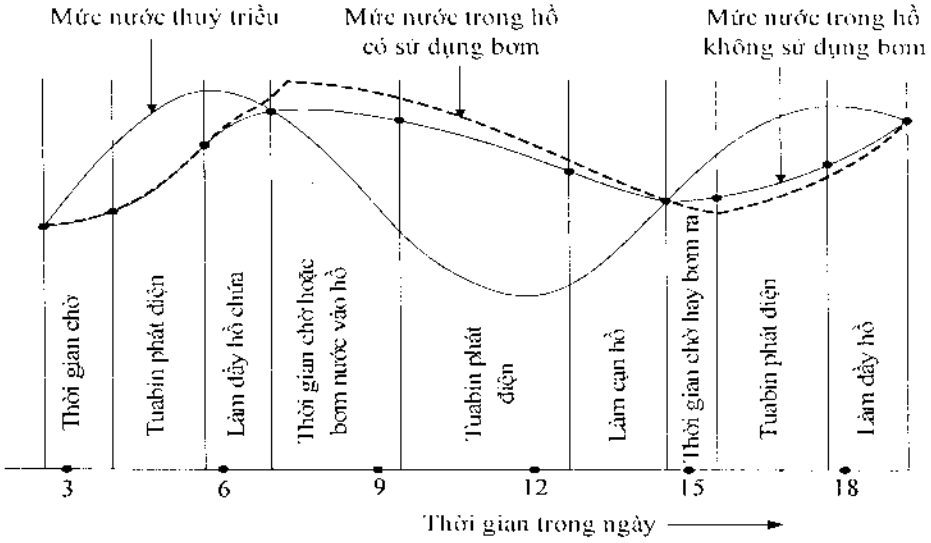
phát điện khi triều xuống. Nguyên lý vận hành phát điện hai chiều này đã được áp dụng ở Nhà máy Điện thuỷ triều ở La Rance (Pháp).

Ưu điểm chính của phương pháp phát điện hai chiều là làm tăng thời gian phát điện của nhà máy trong ngày. Tuy nhiên nó cũng có một số nhược điểm. Đó là điện năng do nhà máy phát ra thấp hơn điện năng nếu nhà máy đó hoạt động theo phương thức phát điện khi triều xuống. Ngoài ra chi phí xây dựng nhà máy cao hơn khoảng 15 đến 20% so với chi phí xây dựng nhà máy cùng công suất hoạt động khi triều xuống. Một vấn đề khác nữa là nó còn gây ra các ảnh hưởng nghiêm trọng đến sự hoạt động bình thường của các cảng biển và hàng hải khu vực lân cận.

Để nâng cao hiệu quả của nhà máy phát điện thuỷ triều người ta thường kết hợp phát điện theo chu trình thuỷ triều tự nhiên và bơm cưỡng bức theo chiều ngược lại với chiều dòng thuỷ triều để duy trì độ cao cột nước có giá trị cao lâu hơn và do đó điện năng phát ra được lớn hơn. Hình 8.10 trình bày các chu kỳ phát điện và bơm nước ở một nhà máy điện thuỷ triều hoạt theo theo phương thức hai chiều.



Hình 8.9 - Công suất phát điện của nhà máy điện thuỷ triều hoạt động theo chu trình triều xuống.



Hình 8.10 - Vận hành của tuabin trong nhà máy điện thuỷ triều hoạt động theo công nghệ phát điện hai chiều kết hợp bơm nước.

8.3.2- Năng lượng nhiệt đại dương

Năng lượng Mặt Trời được các đại dương hấp thụ và tích trữ như là nguồn nhiệt trong các lớp nước bề mặt. Mặt khác, ở các độ sâu hơn 1000m nước lạnh chuyển động một cách rất chậm từ các địa cực đến xích đạo. Do đó độ chênh lệch nhiệt độ (hay còn gọi là gradien nhiệt độ) theo chiều vuông góc với mặt biển đạt được khoảng 25°C và khá ổn định trong thời gian cả năm ở nhiều vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới. Theo các định luật cơ bản của nhiệt động học, gradien nhiệt độ có thể khai thác như một nguồn nhiệt. Nước nóng ở bề mặt và nước lạnh ở dưới tầng sâu của đại dương, nếu đem lại gần nhau có thể sử dụng như là các nguồn nóng và nguồn lạnh trong một máy nhiệt. Một máy nhiệt hoạt động với hai nguồn nhiệt như thế cũng giống như các máy nhiệt trong các nhà máy nhiệt điện, nhưng đối với các máy nhiệt đại dương thì không cần dùng một nhiên liệu nào cả.

Gradien nhiệt độ đại dương không biến đổi nhiều từ ban ngày sang ban đêm và vì vậy có thể coi là nguồn nhiệt rất ổn định. Tuy nhiên nó có thể thay đổi theo mùa và phụ thuộc vào khoảng cách đến xích đạo.

Tiềm năng năng lượng nhiệt đại dương ước tính khoảng 10^{13}W (10 TW). Tất nhiên không thể khai thác được hết toàn bộ nguồn năng lượng này. Nguồn năng lượng có thể khai thác thực tế nhỏ hơn tiềm năng nói trên. Các chuyên gia năng lượng đã tính toán một cách chính xác và đưa ra con số tiềm năng thực tế là 10^{11}W (0,1 TW).

Để có thể biến đổi gradien nhiệt độ đại dương thành điện năng người ta có thể dùng một

số chu trình biến đổi như sau.

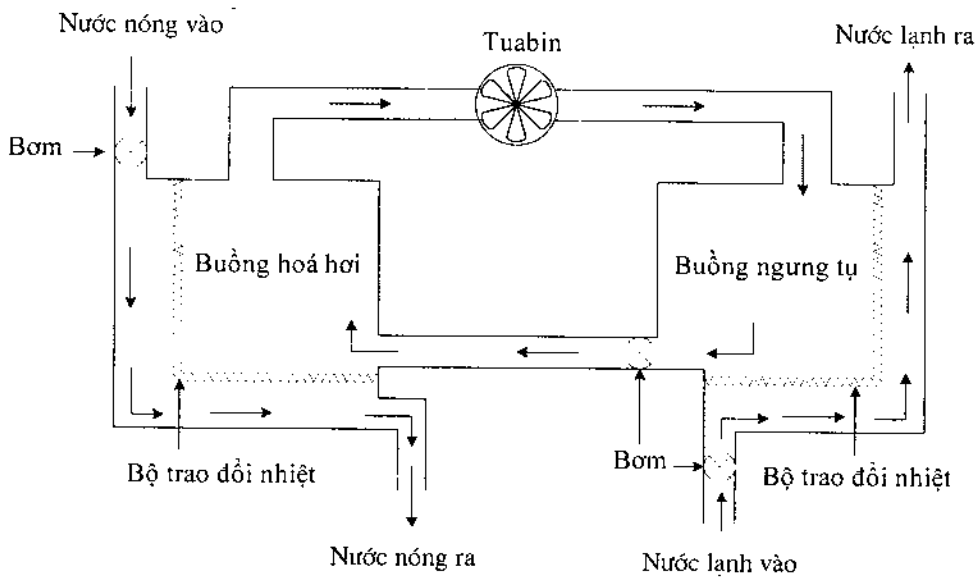
a- Chu trình kín

Hệ thống chu trình kín như trình bày trên hình 8.11 vận hành như sau. Nước nóng ở lớp nước bề mặt đại dương được dùng để làm nóng một chất lỏng có nhiệt độ bay hơi thấp – chất lỏng này được gọi là chất lỏng làm việc - như amoniac, freon hay propan. Chất lỏng làm việc khi đi qua buồng có áp suất thấp sẽ bị bốc hơi. Hơi này được cho qua tuabin làm quay tuabin phát điện, sau đó hơi đi qua buồng ngưng tụ được làm lạnh bằng nước biển lạnh lấy từ các tầng nước sâu và được bơm trở về buồng hoá hơi,v.v...

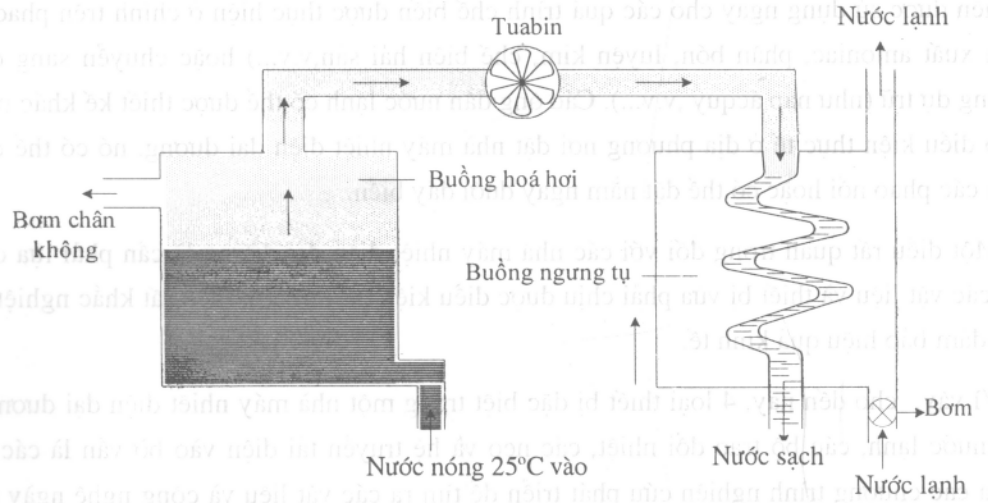
b- Chu trình mở

Bản thân nước biển cũng có thể sử dụng như một chất lỏng làm việc nhưng không chạy theo chu trình kín mà theo chu trình mở (hình 8.12). Hệ thống máy nhiệt hoạt động theo chu trình mở này được gọi là hệ thống mở.

Nước biển nóng được làm "*bay hơi nổ*" trong một buồng chân không. Hơi nước được dẫn để xả qua một tuabin hơi để phát điện, sau đó đi vào bình ngưng tụ dùng nước biển lạnh tự nhiên. Điều hấp dẫn của hệ thống này là hơi nước sau khi ngưng tụ trong buồng ngưng tụ là nước sạch đã được chưng cất. Nó có thể dùng như một nguồn nước sạch phục vụ sinh hoạt và công nghiệp.



Hình 8.11 - Nguyên lý hoạt động của nhà máy nhiệt điện đại dương chu trình kín.



Hình 8.12- Nguyên lý hoạt động của nhà máy nhiệt điện đại dương chu trình mở.

Độ chênh nhiệt độ giữa lớp nước nóng bề mặt và lớp nước lạnh ở dưới sâu đạt được các giá trị lớn nhất ở khác khu vực gần xích đạo. Mặt khác độ dày của lớp nước nóng cũng có xu hướng đạt tới một cực tiểu ở các vĩ tuyến gần xích đạo. Điều này sẽ là các đặc điểm quan trọng cần phải tính đến khi thiết kế hệ thống thu gom nước nóng của hệ thống. Ngoài ra các lớp nước lạnh ở dưới các đại dương cũng gần hơn với lớp nước nóng bề mặt ở các khu vực gần xích đạo. Đặc trưng này tạo ra các lợi ích rất lớn trong thiết kế và chế tạo các ống lấy nước lạnh cho nhà máy nhiệt điện đại dương (OTEC).

Các chu trình máy nhiệt để khai thác năng lượng nhiệt đã được ứng dụng rộng rãi. Đối với các nhà máy nhiệt điện đại dương làm việc với độ chênh lệch nhiệt độ khoảng 20°C khoảng 3%.

Vì phải lấy nước lạnh ở độ sâu trên 1000m và vì phải cho lưu lượng nước cần thiết đối với mỗi MW công suất là 4 đến 8 m/s, nên nhà máy nhiệt điện đại dương thường phải có quy mô khá lớn.

Một nhà máy nhiệt điện đại dương có thể xây dựng trên đất liền (bờ biển) hoặc trên các tháp nổi cố định và cũng có thể đặt trên hệ thống phao nổi. Trong trường hợp xây trên hệ thống phao nổi người ta có thể cố định chúng bằng các neo và khi cần thiết có thể di chuyển trên biển từ vùng này sang vùng khác, tạo ra một nhà máy điện "xa bờ" (off- shore) phục vụ các ngành công nghiệp có tính mùa vụ.

Hệ thống nhà máy nhiệt điện đại dương nổi có ưu điểm là có thể dễ dàng di chuyển đến nơi có độ chênh nhiệt độ cao. Nhưng để có hiệu quả kinh tế cao hơn, quy mô nhà máy nên ở

trong phạm vi 100MW đến 400MW. Đối với nhà máy nổi này thì nguồn năng lượng được sản xuất ra nên được sử dụng ngay cho các quá trình chế biến được thực hiện ở chính trên phao nổi (như sản xuất amoniac, phân bón, luyện kim, chế biến hải sản,v.v...) hoặc chuyển sang dạng năng lượng dự trữ (như nạp ácquy ,v.v...). Các ống dẫn nước lạnh có thể được thiết kế khác nhau. Tuỳ theo điều kiện thực tế ở địa phương nơi đặt nhà máy nhiệt điện đại dương, nó có thể được treo dưới các phao nổi hoặc có thể đặt nằm ngay dưới đáy biển.

Một điều rất quan trọng đối với các nhà máy nhiệt điện đại dương là cần phải lựa chọn sử dụng các vật liệu và thiết bị vừa phải chịu được điều kiện môi trường biển rất khắc nghiệt, lại phải vừa đảm bảo hiệu quả kinh tế.

Vì vậy, cho đến nay, 4 loại thiết bị đặc biệt trong một nhà máy nhiệt điện đại dương là ống dẫn nước lạnh, các bộ trao đổi nhiệt, các neo và hệ truyền tải điện vào bờ vẫn là các đối tượng của các chương trình nghiên cứu phát triển để tìm ra các vật liệu và công nghệ ngày một tốt hơn, đem lại hiệu qủa kinh tế cao hơn.

8.3.3- Năng lượng sóng biển

Gió thổi trên bề mặt đại dương bao la truyền một phần năng lượng của nó cho đại dương tạo ra các sóng biển. Các sóng biển cũng là một nguồn năng lượng rất lớn và hấp dẫn. Tiềm năng năng lượng sóng biển biến đổi từ nơi này sang nơi khác phụ thuộc vào vị trí địa lý. Thậm chí ngay ở một vị trí đã cho năng lượng sóng biển cũng biến đổi theo thời gian từng giờ, từng ngày, từng mùa.

Tuỳ theo nguyên lý hoạt động, các thiết bị khai thác sóng biển được phân loại theo "mái dốc" (Ramp), cánh nổi (float flaps), bóng khí (air bell) và bơm sóng (wave pump). Một cách phân loại khác là chia các loại thiết bị thành các bộ "một chiều" (Rectifier), bộ dao động điện (Tuned Oscillator) hoặc bộ dao động không điện (Untuned Oscillator). Trên thế giới đã có nhiều công ty nghiên cứu, thiết kế và chế tạo các thiết bị khai thác năng lượng sóng biển, nhưng nói chung số lượng cũng như công suất thiết bị còn nhỏ. Các công trình nghiên cứu phát triển trong lĩnh vực khai thác năng lượng sóng biển vẫn đang được tiếp tục ở một số nước trên thế giới như ở Nhật Bản, Aixơlen, Anh, Mỹ, Canada, Nauy và Ấn Độ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *H. Stephen Stoker, Spencer L. Seager, Robert L. Capener:* From Source to Use Energy, Linrary of Congress, Catalog Number 74-78255, ISBN 673-07947, USA.

2. *H.P. Garg:* Trease on solar energy, Vol. 1, Fundamentals of solar energy, John Wiley and Sons, New York 1982.

3. *Martin Mc Phillips*: The solar age, Everest House Publishers, New Press,1979.

4. *A.M. Sayigh*: Energy and Environment into the 1990s, Vol. 1, Pergamon Press, 1999.

5. *France Lanier, Tony Gan Ang:* Technical Social and Economical of Photovoltaic System for Rural Application.

6. *Maheshwar Dayal:* Renewable Energy, Environment and Development, Konark Publishers PVT LTD, New Delhi 1989

7. *Bernard Mc Nelis:* Solar Photovoltaic Electricity Generation, Expert Group Meeting on the Application of Solar Energy, Bali, Indonesia 12- 17 July 1993

8. *George Warfield:* Solar Photovoltaic Electricity Systems- Design and Installation, Mc Graw Hill Book Company, USA 1983.

9. *Trần Huy Khang:* Sách tra cứu bức xạ Mặt Trời, Viện Khí tượng Thuỷ văn, Hà Nội 1980.

10. *Lawrence L. Kazmerski:* Photovoltaic: a review of cell and module technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 1 71-170, 1997.

11. *Y. Marfaing:* The photovoltaic effect, Physical Principles, apApplications and Trends, ediction du centre national de la recherche scientificque, Paris, 1978.

12. *Vũ Linh, Đặng Đình Thống*: Thiết kế và lắp đặt các hệ nguồn điện pin Mặt Trời; Tuyển tập các báo cáo KH, Hội nghị KH Trường ĐHBK HN trang 22, Hà Nội, 1991.

13. *Dang Dinh Thong:* Solar Photovoltaic (PV) system for Truong Sa Island, Center of energy study, Indian Institute of Technology, New Delhi, 12-1991, India.

14. Vũ Linh, Đặng Đình Thống: Nghiên cứu công nghệ chế tạo mô dun pin Mặt Trời; Hội nghị Vật lý toàn quốc lần thứ 4, Hà Nội 5 - 8/ 1993.

15. *Đặng Đình Thống, Trần Hồng Quân*: Ứng dụng các nguồn năng lượng thiên nhiên cho Viễn thông; Tổng Công ty Bưu chính Viễn thông Việt nam, Trung tâm thông tin tư liệu, Hà Nội 1995; Giấy phép xuất bản, 205S.GPNT/XB cấp ngày 11-12-1995. Xuất bản lần

thứ nhất 2/1996.

16. *Đặng Đình Thống, Nguyễn Tiến Dũng, Vương Sơn:* Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo Bộ điều khiển điện tử dùng trong hệ nguồn điện pin Mặt Trời; Hội nghị KH Đại học Bách khoa HN, 52 - 58, Phân ban Vật lý, Hà Nội 12- 13/ 10/ 2001.

17. *Suhas P Sukhatme:* Solar Energy, Principles of Thermal Collection and Storage, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi 1996.

18. *Wang Bingzhong, Li Shensheng, Liu Jianmin and others:* Solar Energy Engineering Technologies, Press@onbook.com.cn, 9- 2001

19. *Bloss, W.H., Peisterer F.*, "Photovoltaic: solar electricity", World Solar Summit, Paris 5-9 July 1995

20. *Y. Marfaing*, "Solar Energy, Conversion and Application", Paris 1987

21. *Lawrence L. Kazmerski*, "Photovoltaics: A review of cell and module technologies", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.1 Nos ½, pp. 71-170, 1997

22. *M.A. Green et al.*, "Proc. 11th EC-PVSEC", Montreux, 1992 (Kluwer, Dorrecht, 1992)

23. *M.A. Green et al.*, "Conf. Rec. 23rd IEEE PVSC", Louisville, 1993

24. "Renewable Energies, Innovation for the future", Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Bonn, May 2004

25. *P.D. Maycock, PV- NEWS*, Vol. 11, No. 8, August 1993.

26. *R. Mertens, J. Niji et al.*, "Proc. 11th EC-PVSEC", Montreux, 1992

27. *A.L. Fahrenbruch, R.H. Bube*, " Fundamentals of solar cells", Academic Press 1983

28. M. Stutzmann, W.B. Jackson, C.C. Tsai, Phys. Rev. B32, 23, 1985.

29. *Ronald E. West and Frank Kreith:* Economic Analysis of Solar Thermal Energy Systems, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England 1988.

30. *Vũ Duy Quang:* Thuỷ khí động lực ứng dụng. Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 1996.

31. *Phạm Văn Vĩnh:* Cơ học chất lỏng ứng dụng. Nhà xuất bản Giáo dục. 2001.

32. *И. Л. Повх:* Техническая Гидромеханика. Изд. "Машиностроение". Ленинград. 1969.

33. *Я. И. Шевтер*: Ветроенергетические Агрегаты. Изд. "Машиностроение". Москва 1972.

34. *Đặng Đình Thống và các tác giả:* Giáo trình năng lượng mới đại cương. Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 2001.

35. *Võ Sỹ Huỳnh, Nguyễn Thị Xuân Thu:* Tuabin nước. Trường Đại học Bách khoa Hà Nội 1991.

36. *В. С. Квятковский и другие:* Малые гидротурбины. Гос. н.- т изд. Машносроительной Литературы. Москва 1950.

37. *В. В. Барлит. Гидравлические Турбины:* Киев Гловное Издателство издательского объединения "Вища Школа".1977.

38. *Luo*: Small Hydropower in China. Experience and Technology. Hangzhou Regional Center for small hydropower. P. R. China 1995.

39. *Е. М. Фатеев*: Ветродвигатели и их применение в сельском хозайстве. Гос. н.- т. Издат. Машиностоительной Литературы. Москва 1962.

40. *В. Н. Андрианов и другие:* Ветроэлектричкие станции. Гос. энергетическое издательство. Москва – Ленинград 1960.

41. *Chaeles Y. Wereko-Brobby and Essel B. Hagan:* Biomass conversion and technology, John Wiley & Sons, England 1996

42. *Nguyễn Quang Khải và cộng sự:* Công nghệ năng lượng sinh khối trong khuôn khổ năng lượng nông thôn, Báo cáo kết quả nghiên cứu Đề tài KHCN cấp Nhà nước ' chiến lược phát triển bền vững năng lượng nông thôn, miền núi ', Mã số KHCN 09-09, Hà Nội 2000.

MỤC LỤC

Chương 3- CÁC BỘ THU NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI HỘI TỤ

Chương 4- PIN MẶT TRỜI

Chương 7. NĂNG LƯỢNG GIÓ VÀ ỨNG DỤNG

Chương 8- CÁC NGUỒN NĂNG LƯỢNG TÁI TẠO KHÁC

CƠ SỞ NĂNG LƯỢNG MỚI VÀ TÁI TẠO

Tác giả : **Đặng Đình Thống**

Lê Danh Liên

Chịu trách nhiệm xuất bản : PGS. TS. TÔ ĐĂNG HẢI
Biên tập và sửa bài: ThS. NGUYỄN HUY TIẾN
QUANG NGỌC
Trình bày bìa : HƯƠNG LAN

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
70, TRẦN HƯNG ĐẠO – HÀ NỘI

In 800 cuốn, khổ 19 x 27cm, tại Xưởng in NXB Văn hoá Dân tộc
Quyết định xuất bản số: 136-2006/CXB/53-06/KHKT ngày 12/4/2006
In xong và nộp lưu chiểu Quý III năm 2006.

206151

Giá: 47.000đ