

NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI

QUÁ TRÌNH NHIỆT VÀ ỨNG DỤNG



TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
50 NĂM XÂY DỰNG VÀ PHÁT TRIỂN
TRUNG TÂM NGHIÊN CỨU NĂNG LƯỢNG MỚI
NGUYỄN CÔNG VÂN

NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI QUÁ TRÌNH NHIỆT VÀ ỨNG DỤNG



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI

LỜI NÓI ĐẦU

Một mốc lịch sử rất quan trọng trong lịch sử phát triển của loài người là việc phát minh ra lửa và biết dùng các loại nhiên liệu tự nhiên như củ rừng để duy trì ngọn lửa, nhờ đó đã phát triển thành một nền văn minh của nhân loại và thoát khỏi cuộc sống của động vật. Sau nhiều nghìn năm, mãi đến thế kỷ thứ nhất trước công nguyên con người mới biết dùng sức nước để làm quay guồng nước, và đến đầu thế kỷ thứ XII mới biết sử dụng sức gió để làm cối xay gió. Khoảng nửa cuối thế kỷ thứ XVIII con người mới phát hiện được các nguồn nhiên liệu hoá thạch như: than đá, dầu và khí đốt tự nhiên. Đến giữa thế kỷ XX nhà máy điện nguyên tử đầu tiên của thế giới ra đời, nhờ đó đã thoả mãn được nhu cầu năng lượng của con người và đưa nền văn minh của nhân loại tiến một bước dài như ngày nay.

Tuy nhiên, theo thống kê thì tốc độ phát triển dân số tăng theo quy luật hàm mũ của thời gian, do đó tốc độ phát triển về nhu cầu năng lượng của con người cũng tăng theo với tốc độ tương ứng, đặc biệt vào cuối thế kỷ XX thì tốc độ này còn cao hơn tốc độ phát triển dân số. Mặt khác, các nguồn năng lượng hoá thạch là có hạn, con người khai thác đến một lúc nào đó sẽ hết, hơn nữa khi khai thác và sử dụng các nguồn nhiên liệu hoá thạch, thủy điện và điện nguyên tử ... đã để lại cho loài người những hậu quả về tác động môi trường là vô cùng lớn lao. Một trong những hậu quả đó là khi sử dụng các nguồn nhiên liệu này đã thải ra môi trường các loại khí độc làm ô nhiễm bầu khí quyển bao quanh Quả Đất, mà hậu quả tai hại của hiện tượng này đã làm thay đổi khí hậu, tác động xấu đối với cuộc sống hiện nay và tương lai của loài người.

Vậy trong tương lai con người sẽ sống và phát triển bằng nguồn năng lượng nào?. Đó là câu hỏi dự báo đã được đặt ra cho các nhà khoa học từ nhiều thập kỷ nay. Một trong các lời giải đáp là hãy khai thác và sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo như: năng lượng Mặt Trời; năng lượng gió; năng lượng các nguồn nước; năng lượng địa nhiệt; thủy triều; sóng biển v.v...

Mục đích của quyển sách này là nhằm giới thiệu một trong các nguồn năng lượng tái tạo - **năng lượng Mặt Trời**. Tuy nhiên, ở đây cũng chỉ giới thiệu về **lý thuyết cơ bản của quá trình nhiệt Mặt Trời và tính toán lý thuyết các thiết bị biến đổi bức xạ Mặt Trời thành năng lượng nhiệt** dùng cho sản xuất công nghiệp và trong sinh hoạt gia đình. Với mục đích đó trong **chương một** sẽ giới thiệu tổng quát về Mặt Trời và bức xạ Mặt Trời, quy luật vận động và tương tác giữa Mặt Trời và Trái Đất, các định luật cơ bản về bức xạ Mặt Trời khi xuyên qua lớp khí quyển và tác dụng với vật chất trên mặt đất. Trong **chương hai** giới thiệu những nét cơ bản về sự tương tác của chùm tia bức xạ

với môi trường vật chất, trong đó có định nghĩa về "hiệu ứng nhà kính". **Chương ba** trình bày một số định luật cơ bản về lý thuyết truyền nhiệt, nhằm phục vụ cho nội dung ứng dụng quá trình nhiệt Mặt Trời sẽ được đề cập ở các **chương bốn, năm, sáu, bảy, tám**. Trong các chương này lần lượt giới thiệu tổng quan về kết cấu của các loại thiết bị thu nhiệt và phương pháp tính toán lý thuyết các bộ thu phẳng ứng dụng trong các thiết bị đun nước nóng, nung nóng không khí, thiết bị hội tụ, thiết bị chưng cất nước bằng năng lượng Mặt Trời và hệ hỗn hợp thu và tích trữ nhiệt. **Chương chín** giới thiệu một số vật liệu quan trọng thường được dùng trong kỹ thuật năng lượng nhiệt Mặt Trời, và **chương mười** giới thiệu sơ bộ về phương pháp đánh giá hiệu quả kinh tế các thiết bị sử dụng năng lượng nhiệt Mặt Trời. Cuối cùng là **phần phụ lục** nhằm cung cấp cho các nhà thiết kế cũng như sinh viên những số liệu cần thiết, phục vụ cho việc tính toán thiết kế thiết bị và các bài tập thực hành để làm sáng tỏ khi nghiên cứu nội dung lý thuyết.

Đây cũng là một trong những quyển sách nằm trong bộ sách của dự án cấp Bộ: **"Nghiên cứu biên soạn bộ sách khoa học công nghệ và giáo khoa phục vụ nghiên cứu ứng dụng và đào tạo công nghệ năng lượng sạch"** thuộc Bộ Giáo dục và Đào tạo, do PGS. TS. Đặng Đình Thống Trường Đại học Bách khoa chủ trì, mang mã số B2003-28-33-DAMT.

Lần đầu tiên biên soạn và xuất bản quyển sách này hy vọng đáp ứng được sự mong đợi của các nhà nghiên cứu, cũng như những người quan tâm đến lĩnh vực nghiên cứu sử dụng năng lượng Mặt Trời vào cuộc sống. Mặc dầu tác giả rất cố gắng trong việc biên soạn nhằm chất lọc những vấn đề cốt lõi nhất để đạt được các yêu cầu: cơ bản, khoa học và hệ thống. Tuy nhiên, không thể tránh khỏi những thiếu sót trong khâu biên soạn nội dung cũng như cách trình bày... có thể những điều đó làm cho nhiều bạn đọc chưa thật vừa ý. Chúng tôi rất mong nhận được những lời góp ý chân thành và xây dựng của tất cả bạn đọc, chỉ ra những thiếu sót cần khắc phục để cho những lần tái bản sau này sách được hoàn hảo hơn, đáp ứng được yêu cầu của đông đảo bạn đọc cũng như phục vụ cho công tác đào tạo và nghiên cứu được tốt hơn.

Xin chân thành cảm ơn!

Tác giả

GIẢI THÍCH CÁC KÝ HIỆU

A	Diện tích trao đổi nhiệt
AC	Diện tích bộ thu phẳng
AP	Diện tích mặt hấp thụ
Am	Diện tích gương phản xạ
ΔAZ	Hiệu của góc phương vị Mặt Trời và phương vị của mặt phẳng nghiêng
a	Số Albedo; Hệ số dẫn nhiệt độ; chỉ số nhiệt độ môi trường
b	Giá thành một đơn vị nhiên liệu; chiều rộng mỗi hàn
C	Độ tụ; hoặc tổng chi phí lắp đặt thiết bị; hoặc vốn đầu tư ban đầu
C_p	Nhiệt dung riêng
C_b	Nhiệt trở mỗi hàn
c	Chỉ số lạm phát
D	Đường kính
D_i	Đường kính trong
D_o	Đường kính ngoài
D_z	Tỉ số cường độ bức xạ đơn sắc và hằng số Mặt Trời
d	Trọng lượng riêng; nồng độ bụi trong không khí
d_c	Đường kính khí động
E	Năng lượng bức xạ; kinh tuyến Đông
E_o, E_i, E_a, E_r	Tương ứng năng lượng tới, phản xạ, hấp thụ và truyền qua
E_t	Phương trình thời gian
e	Chiều dày một lớp mỏng
F	Tiêu điểm của thiết bị hội tụ; hoặc hiệu suất cánh
F'	Hiệu suất hiệu dụng
F''	Hiệu suất lưu thông
F_R	Hiệu suất thoát
F_1	Tỉ số của hệ số dẫn nở nhiệt và bình phương độ nhớt động học
F_2	Hàm phụ thuộc nhiệt độ
f	Hệ số ma sát; tiêu cự của parabol; phương trình hiệu chỉnh tốc độ gió; chỉ số so sánh kinh tế trong đầu tư; chỉ số ký hiệu chất tải nhiệt
G	Lưu lượng khối lượng trên một đơn vị diện tích
G_n	Tổng lợi nhuận được thiết bị tạo ra
Gr	Tiêu chuẩn grashop
g	Gia tốc trọng trường

H	Cường độ bức xạ tổng xạ trên mặt phẳng nằm ngang; chiều cao (lớn)
HR	Cường độ bức xạ tổng xạ trên mặt phẳng nghiêng
HR_h	Cường độ bức xạ trực xạ trên mặt phẳng nghiêng
H_b, H_d, H_k	Tương ứng cường độ bức xạ trực xạ, tán xạ và khuếch tán
h	Hệ số trao đổi nhiệt, hoặc chiều cao (nhỏ)
h_c, h_r, h_w	Tương ứng hệ trao đổi nhiệt đối lưu, bức xạ và thoát nhiệt do gió
h_{lr}	Hệ số trao đổi nhiệt giữa mặt cánh và dòng khí
$h_{r,i}$	Hệ số thoát nhiệt giữa thành ống và chất tải nhiệt
$h_{c,i-k}$	Hệ số trao đổi đối lưu giữa hai mặt phẳng thứ i và thứ k
$h_{r,i-k}$	Hệ số bức xạ giữa hai mặt phẳng thứ i và thứ k
Is	Hằng số Mặt Trời
I_0, I_r	Cường độ bức xạ tới và cường độ phản xạ trên mặt tấm kính
i	Chỉ số đầu vào
J	Đơn vị đo nhiệt lượng
K	Nhiệt độ tuyệt đối
k	Hằng số Boltzmann; hệ số dẫn nhiệt; hệ số suy giảm
k_{eff}	Hệ số trao đổi nhiệt trong khe hẹp
$L(T)$	Ẩn nhiệt hoá hơi
L	Chiều dài;
L_1, L_2	Tương ứng chiều dài và chiều rộng trong một tấm phẳng
L_r	Chiều cao của cánh
l	Khoảng cách giữa hai mặt phẳng
M	Khối lượng; thừa số hiệu chỉnh lực ma sát; tổng giá trị tiền đầu tư có tính đến tỷ lệ giữa lạm phát và lãi suất tiết kiệm ngân hàng
M_λ^0	Năng lượng phổ phát xạ đơn sắc
m	Khối lượng; tỉ khối khí (Airmass); hệ số nhiệt tấm mỏng; hệ số hiệu chỉnh số Reynol
$m\mu$	Micromet, đơn vị đo chiều dài
N	Số lượng; độ vĩ Bắc; chỉ phương Bắc; độ dài thời gian trong ngày; đơn vị đo lực Newton; viết tắt nghìn đồng
N_u	Số Nusselt
n	Pháp tuyến, số lượng, số năm, số thứ tự ngày trong năm; chiết suất môi trường
o	Chỉ số đầu ra
P	Áp suất khí quyển; tỉ lệ bảo dưỡng thiết bị; ký hiệu mặt phẳng nằm ngang
Δp	Độ sụt áp trong ống dẫn khí
P'	Ký hiệu mặt phẳng nằm nghiêng
Pr	Số Prandtl

Q	Nhiệt lượng
Q_u, Q_t, Q_c	Tương ứng nhiệt có ích, nhiệt tổn thất và nhiệt tích trữ trong bộ thu
$\dot{q}, \dot{q}_1, \dot{q}_c, \dot{q}_t$	Thông lượng nhiệt; thông lượng nhiệt bức xạ, bốc hơi, đối lưu tương ứng
q_u, q_t, q_c	Nhiệt có ích, nhiệt tổn thất, nhiệt tích trữ
R	Bán kính; hệ số chuyển đổi năng lượng bức xạ toàn phần; bình tích trữ nhiệt; khả năng sinh lợi
R_{ai}	Số Raithby
Re	Số Reynolds
R_h	Hệ số chuyển đổi năng lượng bức xạ trực xạ
R_{fi}	Nhiệt trở giữa tấm hấp thụ và chất tải nhiệt
$R_{i,j}$	Nhiệt trở giữa hai vật i và j
r	Chỉ số sinh lợi
S	Diện tích; năng lượng tấm hấp thụ thực sự nhận được; tổng giá trị sinh lợi; chỉ phương Nam
S^*	Diện tích bộ trao đổi nhiệt
s	Tổng số tiền hy vọng tiết kiệm được trong một năm
s_1	Lãi suất tiết kiệm tiền gửi ngân hàng
T	Nhiệt độ C
T_{sv}	Thời gian chính xác
T_{LG}	Giờ pháp định
t	Thời gian
U	Thời gian thu hồi vốn
U_L, U_a, U_t	Tổn thất nhiệt toàn phần; qua mặt đáy; qua mặt trên
U''	Tổn thất nhiệt toàn phần trong hệ nung nóng khí trong kênh dẫn có cánh
V, v	Vận tốc dòng chảy
v	Tuổi thọ của thiết bị
X	Tỉ số xoắn
x	Tỉ số giữa tỷ lệ làm phát và lãi suất tiết kiệm ngân hàng
W	Chiều rộng cánh phẳng; khoảng cách giữa hai cánh; chỉ phương Tây; đơn vị công suất điện
w	Chiều dày lớp sương quy ra nước trong không khí
Z	Tổng chi phí lắp đặt và duy trì bảo dưỡng; trục thẳng đứng
OZ	Pháp tuyến của mặt phẳng nằm ngang
OZ'	Pháp tuyến của mặt phẳng nghiêng
$\sum Z$	Tổng tổn thất cục bộ trong kênh dẫn
α	Góc độ cao Mặt Trời; hệ số hấp thụ
β	Góc hợp bởi mặt phẳng nằm nghiêng và nằm ngang
δ	Góc lệch Mặt Trời; bề dày một tấm mỏng

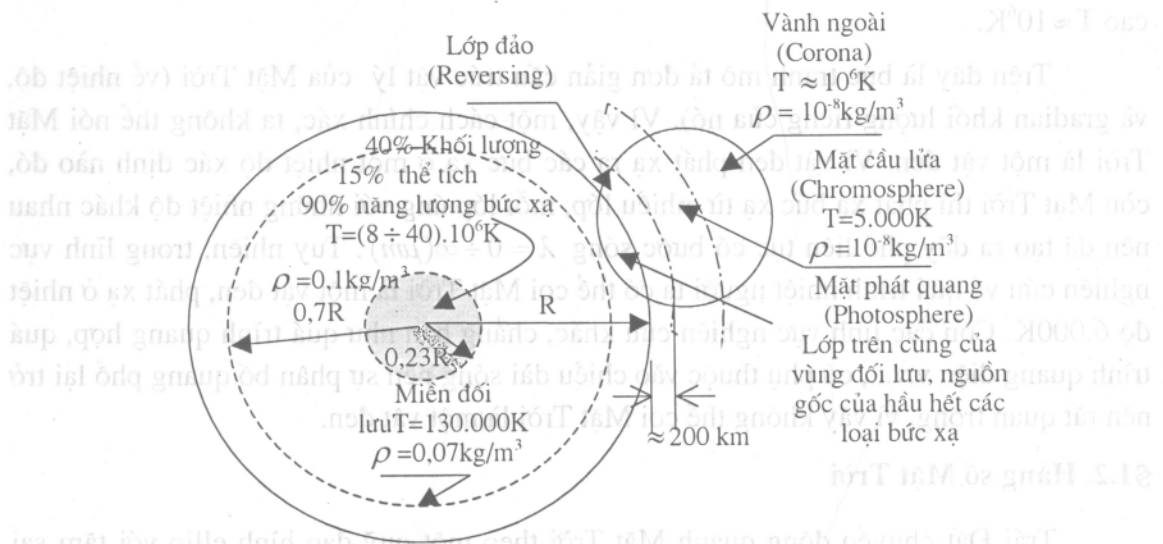
$\varepsilon, \varepsilon_p, \varepsilon_k$	Hệ số phát xạ; hệ số phát xạ của kính; hệ số phát xạ của tấm hấp thụ
ϕ	Góc kính tuyến
ϕ_i	Góc mở
φ	Góc vĩ tuyến
γ	Góc phương vị của mặt phẳng nghiêng; chiều dày mỗi bản; hệ số tổn thất quang
γ_s	Góc phương vị của mặt phẳng nghiêng
η	Hiệu suất bộ thu
η_i	Hiệu suất bốc hơi
λ	Chiều dài sóng; hệ số dẫn nhiệt
μ	Độ nhớt động lực học
ν	Độ nhớt động học
θ	Góc hợp bởi tia tới và pháp tuyến
θ_1	Góc tới trên mặt phẳng nằm nghiêng
θ_2	Góc tới trên mặt phẳng nằm ngang
θ_s	Góc hợp bởi hai tia sáng nằm ở hai điểm mút của đường kính Mặt Trời
θ_1, θ_2	Tương ứng góc tới và góc khúc xạ trên mặt phân cách hai môi trường
θ_c	Sai lệch góc do chế tạo mặt phản xạ
$\rho, \rho_{\perp}, \rho_{\parallel}$	Hệ số phản xạ; hệ số phản xạ của thành phần phân cực vuông góc và thành phần phân cực song song
σ	Hệ số Stéfan- Boltzmann
τ	Lãi suất tiết kiệm tiền gửi ngân hàng
$\tau, \tau_r, \tau_{\alpha}$	Hệ số truyền qua; hệ số truyền qua có phản xạ; hệ số truyền qua có hấp thụ
$(\tau\alpha)$	Hệ số truyền qua tích hợp hấp thụ truyền qua
$(\tau\alpha)_b, (\tau\alpha)_d$	Tương ứng hệ số truyền qua tích hợp hấp thụ truyền qua của bức xạ trực xạ và tán xạ
ω	Góc giờ Mặt Trời; vận tốc dòng chảy
ξ	Hiệu quả kinh tế của một thiết bị sử dụng năng lượng Mặt Trời
ψ	Hệ số chiếm diện tích; góc nghiêng của gương phản xạ; một hàm phụ thuộc nhiệt độ
ζ	Hệ số sử dụng nước nóng
χ	Hệ số giãn nở nhiệt thể tích

Chương 1

TỔNG QUÁT VỀ BỨC XẠ MẶT TRỜI

§1.1. Vài nét về cấu tạo Mặt Trời

Ngày nay nhờ các phương tiện đo đạc vật lý và thiên văn người ta đã biết khá rõ về cấu tạo và các đặc trưng cơ bản nhất của Mặt Trời. Mặt Trời là một khối khí cực nóng, dạng hình cầu. Các phân tử khí cấu tạo Mặt Trời gồm có khí hydro (chiếm tới 80%) và nguyên tố He (chiếm gần 20%). Các phân tử khí liên kết với nhau nhờ lực hấp dẫn. Đường kính của Mặt Trời là $1,39.10^6\text{km}$; khoảng cách trung bình giữa Mặt Trời và Trái Đất là $1,5.10^8\text{km}$. Mặt Trời tự quay quanh trục của nó với chu kỳ 28 ngày đêm, nhưng không giống như sự tự quay của một vật rắn, chu kỳ quay của xích đạo Mặt Trời là 27 ngày đêm, còn ở hai cực là 30 ngày đêm.



Hình 1.1.1. Sơ đồ cấu trúc Mặt Trời.

Thực chất Mặt Trời là một lò phản ứng nhiệt hạch, xảy ra bởi sự kết hợp giữa hai nguyên tử hydro có bốn proton, tạo thành một nguyên tử He có số proton ít hơn. Do đó khi tạo thành một nguyên tử He xảy ra hiện tượng hụt khối Δm , và giải phóng ra năng lượng theo định luật bảo toàn năng lượng của Einstein $E=\Delta mc^2$. Trong đó c là tốc độ

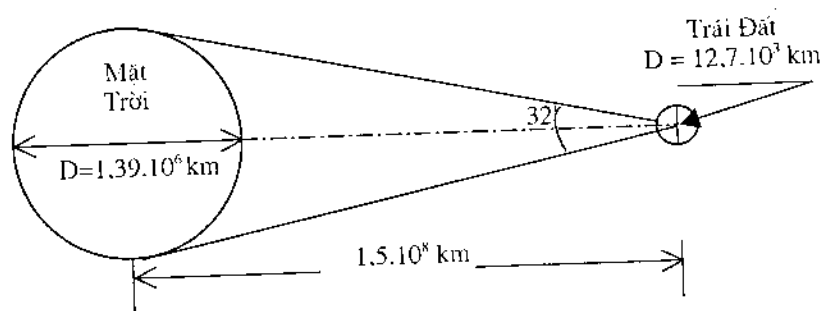
ánh sáng. Năng lượng này tạo ra nhiệt độ rất cao, tới nhiều triệu độ. Ở trung tâm khoảng từ 8.10^6K đến 40.10^6K , rồi lan truyền qua lớp vỏ ra mặt ngoài. Nhiệt độ trên bề mặt Mặt Trời khoảng 6.000K , chính xác là $5.762\text{K}^{(*)}$, sau đó phát xạ dưới dạng sóng điện từ lan truyền ra khắp không gian vào vũ trụ. Hình 1.1.1 mô tả sơ đồ cấu trúc Mặt Trời. Ta thấy vùng trung tâm thể tích ứng với $0,23R$ (R - bán kính Mặt Trời) chỉ chứa 40% khối lượng và 15% thể tích của Mặt Trời, nhưng chiếm tới 90% năng lượng của nó. Ở khoảng cách $0,7R$ nhiệt độ giảm xuống còn 130.000K , tại đây khối lượng riêng giảm xuống còn $0,07\text{kg/m}^3$ và bắt đầu xảy ra hiện tượng đối lưu. Lớp vỏ ngoài từ $0,7R$ đến R cũng là vùng đối lưu, và nhiệt độ ở vùng này còn khoảng 5.000K và khối lượng riêng giảm xuống chỉ còn khoảng 10^{-8}kg/m^3 . Lớp phía trên vùng đối lưu gọi là mặt phát quang hay quang cầu (photosphere). Mép của quang cầu là một đường vành rõ nét, có cấu tạo tương tự như tập hợp bởi nhiều "hạt" (gọi là "tế bào đối lưu" không bình thường). Đường kính của mỗi "tế bào" ước tính khoảng 1.000 đến 3.000km, thời gian tồn tại của chúng chỉ trong một vài phút. Lớp sát mặt ngoài quang cầu với chiều dày khoảng vài trăm km có khối lượng riêng tăng đột ngột, đạt đến khoảng 10^{-4} lần so với khối lượng riêng của không khí trên mặt biển, nên được gọi là lớp đảo. Tiếp theo lớp đảo là vành lửa (Chromosphere) có chiều dày khoảng 10^4km và nhiệt độ của lớp này khoảng 5.000K . Cuối cùng là vành nhật hoa (Corona) có khối lượng riêng thấp nhất nhưng nhiệt độ rất cao $T \approx 10^6\text{K}$.

Trên đây là bức tranh mô tả đơn giản cấu trúc vật lý của Mặt Trời (về nhiệt độ, và gradient khối lượng riêng của nó). Vì vậy, một cách chính xác, ta không thể nói Mặt Trời là một vật đen. Vì vật đen phát xạ ra các bức xạ ở một nhiệt độ xác định nào đó, còn Mặt Trời thì phát xạ bức xạ từ nhiều lớp, mỗi lớp ứng với những nhiệt độ khác nhau nên đã tạo ra dãy phổ liên tục có bước sóng $\lambda = 0 \div \infty (\mu\text{m})$. Tuy nhiên, trong lĩnh vực nghiên cứu về quá trình nhiệt người ta có thể coi Mặt Trời là một vật đen, phát xạ ở nhiệt độ 6.000K . Còn các lĩnh vực nghiên cứu khác, chẳng hạn như quá trình quang hợp, quá trình quang điện v.v..., có phụ thuộc vào chiều dài sóng nên sự phân bố quang phổ lại trở nên rất quan trọng, vì vậy không thể coi Mặt Trời là một vật đen.

§1.2. Hằng số Mặt Trời

Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời theo một quỹ đạo hình ellip với tâm sai $\pm 3\%$. Khoảng cách giữa Mặt Trời và Trái Đất là $1,495.10^8\text{km}$, khoảng cách này được gọi là một đơn vị thiên văn. Từ khoảng cách này tại một điểm nằm trên mặt đất người ta nhìn thấy Mặt Trời dưới một góc đặc $\alpha = 32$ phút (hình 1.2.1). Dưới góc này hai tia sáng xuất phát từ đường bao của Mặt Trời gửi đến Trái Đất là gần như song song.

(*)Theo Thekackara



Hình 1.2.1. Quan hệ giữa Mặt Trời và Trái Đất.

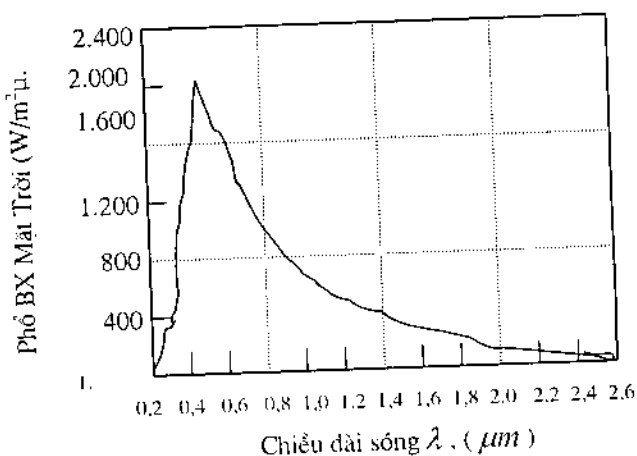
Hằng số Mặt Trời I_{sc} được định nghĩa là cường độ bức xạ đo được trong không gian nằm ngoài lớp khí quyển bao quanh Trái Đất, trong một đơn vị thời gian, trên một đơn vị diện tích bề mặt đặt vuông góc với tia bức xạ. Ngày nay nhờ vệ tinh và các dụng cụ đo chính xác người ta đã xác định được hằng số Mặt Trời có giá trị bằng $I_{sc} = 1.353 \text{ W/m}^2$, tương đương $1940 \text{ Cal/cm}^2/\text{phút}$, hay $4.871 \text{ kJ/m}^2/\text{h}$. (số liệu này do cơ quan vũ trụ NASA của Mỹ công bố năm 1971). Tuy nhiên, khi chùm bức xạ xuyên qua lớp khí quyển bao quanh Trái Đất chúng bị hấp thụ và tán xạ bởi các phân tử khí như: CO_2 , O_3 , CH_4 , H_2O , cũng như các hạt bụi lơ lửng trong không khí v.v... nên khi đến mặt đất thì cường độ bức xạ đã bị giảm đi đáng kể.

§1.3. Sự phân bố quang phổ bức xạ bên ngoài lớp khí quyển

1- Bức xạ Mặt Trời bên ngoài lớp khí quyển

Hằng số Mặt Trời là năng lượng của toàn bộ phổ bức xạ Mặt Trời, năng lượng bức xạ lại phụ thuộc vào tần số (hay bước sóng) của bức xạ. Đường cong phân bố phổ năng lượng bức xạ Mặt Trời ở ngoài lớp khí quyển trong khoảng bước sóng từ $0.2 \div 2.6 \mu\text{m}$ được mô tả trên hình 1.3.1.

Khi tích phân đường cong này trong khoảng bước sóng $\lambda = 0 \div \infty$ người ta sẽ



Hình 1.3.1. Phân bố phổ bức xạ Mặt Trời theo chiều dài sóng.

nhận được toàn bộ bức xạ Mặt Trời. Trong thực tế các bức xạ mang năng lượng chủ yếu nằm ở bước sóng trong khoảng từ $0,38 \mu\text{m}$ đến $0,78 \mu\text{m}$ như đã cho trong bảng 1.3.1

Bảng 1.3.1

$\lambda(\mu\text{m})$	$E(\text{W/m}^2)$	Tỉ số $D_\lambda = \frac{E_\lambda}{I_{sc}}$
$0 \div 0,38$	95	0,0700
$0,38 \div 0,78$	640	0,4729
$0,78 \div \infty$	618	0,4571

2- Các thành phần bức xạ Mặt Trời gửi tới bề mặt một vật trên mặt đất

Các định nghĩa về các thành phần bức xạ Mặt Trời:

- *Bức xạ trực xạ*: là thành phần bức xạ được truyền thẳng từ Mặt Trời đến mặt đất mà không thay đổi phương truyền.

- *Bức xạ tán xạ hay bức xạ khuếch tán*: là thành phần bức xạ nhận được từ mặt đất sau khi thay đổi phương truyền do gặp các chướng ngại trong khi xuyên qua lớp khí quyển bao quanh Trái Đất như: các phân tử khí, hơi nước, bụi, khói hoặc các đám mây v.v...

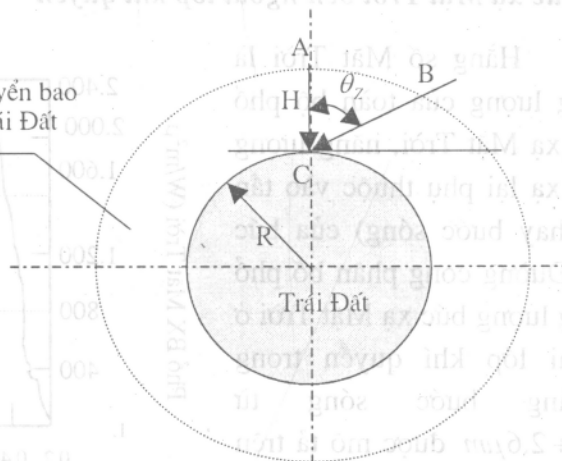
§1.4. Những yếu tố ảnh hưởng đến cường độ bức xạ nhận được trên mặt đất

1.4.1. Tỉ khối khí

- *Tỉ khối khí (air mass)* là tỉ số của quãng đường xuyên qua lớp khí quyển từ một điểm bất kỳ trên mặt đất nhìn thấy Mặt Trời so với quãng đường cũng xuyên qua lớp khí quyển nhưng theo phương xuyên tâm của Trái Đất, như được mô tả trên hình 1.4.1, và được định nghĩa

bằng công thức sau:

Lớp khí quyển bao quanh Trái Đất



Hình 1. 4.1. Sơ đồ mô tả tia bức xạ xuyên qua lớp khí quyển tương ứng với vị trí khác nhau của Mặt Trời.

$$m = \frac{CB}{CA} = \left\{ \left(\frac{R}{H} \cos \theta_z \right) + 2 \left(\frac{R}{H} \right) + 1 \right\}^{1/2} - \left(\frac{R}{H} \cos \theta_z \right) \quad (1.4.1)$$

Như vậy khi tia trực xạ tới từ đỉnh đầu thì giá trị của tỉ khối khí bằng đơn vị ($m=1$), và khi tia tới hợp với thiên đỉnh một góc $\theta_z=60^\circ$ thì $m=2$, còn khi $\theta_z>60^\circ$ thì $m>3$. Khi góc tới $\theta_z>60^\circ$ nếu xét đến hiện tượng khúc xạ khi tia sáng xuyên qua lớp khí quyển quanh mặt đất theo một đường cong thì m được tính bằng công thức

$$m=1/\cos \theta_z$$

- *Số Albedo* là lượng bức xạ phản xạ từ các công trình kiến trúc và cây cối ở môi trường xung quanh gửi tới một vật đang quan sát trên mặt đất. Lượng phản xạ này không bao gồm thành phần tán xạ đã nêu ở trên.

1.4.2. Sự suy giảm cường độ bức xạ khi lan truyền qua lớp khí quyển

Khi phân tích các số liệu bức xạ phát ra từ bề mặt Mặt Trời ở bên ngoài lớp khí quyển trong nhiều năm người ta thấy cường độ bức xạ Mặt Trời thay đổi rất ít, khoảng 1%. Vì vậy khi xét trong quá trình nhiệt dùng cho mục đích năng lượng thì sự thay đổi này có thể bỏ qua. Tuy nhiên, khi bức xạ Mặt Trời xuyên qua lớp khí quyển thì cường độ của chúng bị suy giảm đáng kể, với lý do mà ta vừa đề cập ở trên như: bị hấp thụ bởi hơi nước hay bị tán xạ do gặp các phân tử khí O_2 , O_3 , CO_2 , NO_x , các hạt bụi lơ lửng trong không khí hay các phân tử khác, hoặc khi xuyên qua các đám mây ... Ví dụ, các tia X và tia cực tím bị hấp thụ bởi các phân tử ozon (O_3), còn các tia hồng ngoại có bước sóng trên $2,5 \mu m$ thì bị các phân tử nước H_2O và khí CO_2 hấp thụ hầu như hoàn toàn. Theo tính toán lý thuyết người ta thấy rằng nếu các phân tử lơ lửng có kích thước rất nhỏ so với bước sóng ánh sáng thì khi tia bức xạ xuyên qua lớp khí quyển cường độ bức xạ giảm theo tỉ lệ λ^{-1} , trong đó λ là bước sóng bức xạ đơn sắc. Thực nghiệm đã xác định được hệ số truyền qua của lớp khí quyển đã bị hấp thụ, bằng

$$\tau_{a,\lambda}=10^{-0,00389 \lambda^{-1}} \quad (1.4.2)$$

Ở đây, λ (μm), $m=1$, và áp suất khí quyển $p=760mmHg$. Nếu các phân tử lơ lửng có kích thước lớn hơn nhiều so với kích thước phân tử khí thì hệ số truyền qua là một hàm phức tạp, hàm này phụ thuộc vào kích thước của các phân tử khí và nồng độ của chúng tùy thuộc vào vị trí địa lý, vào độ cao và vào thời gian. Moon đã đưa ra biểu thức tính hệ số truyền qua của lớp khí quyển trong trường hợp này là.

$$\tau_{a,\lambda}=10^{-0,00353 \lambda^{-0,75}} \quad (1.4.3)$$

Ở đây, $m=1$ và nồng độ trung bình của các phân tử bụi trong bầu khí quyển $d=800/cm^3$. Còn đối với phân tử tán xạ là hơi nước đọng sương, tương đương với lớp dày 20mm, khi Mặt Trời ở đỉnh đầu thì được tính bằng công thức

$$\tau_{w,\lambda} = 10^{-0,0075\lambda^{-2}} \quad (1.4.4)$$

Theo Rayleigh^(*), trong trường hợp tổng quát khi đề cập đến tất cả các nguyên nhân trên đây, một cách gần đúng hệ số truyền qua lớp khí quyển có thể được tính theo công thức

$$\tau_{\lambda(S)} \approx \left[(\tau_{a,\lambda})^p (\tau_{d,\lambda})^d (\tau_{w,\lambda})^w \right]^m \quad (1.4.5)$$

trong đó $\tau_{\lambda(S)}$ là hệ số truyền qua lớp khí quyển của sóng bức xạ đơn sắc, (chiều dài sóng λ chỉ xét cho thành phần tán xạ);

p- áp suất khí quyển (mmHg);

d- nồng độ bụi ở mặt đất, (số hạt/cm³);

w- độ dày của lớp hơi nước đọng sương (mm);

m- tỉ khối khí.

Cần nhắc lại rằng, khi xuyên qua lớp khí quyển thì hầu hết các tia tử ngoại bị hấp thụ bởi các phân tử khí O₃, còn các tia hồng ngoại thì bị các phân tử nước H₂O hấp thụ hầu như hoàn toàn. Giá trị của hệ số truyền qua của bức xạ phụ thuộc chiều dài sóng khi xuyên qua lớp khí ozon có chiều dày 2,5mm cho trong bảng 1.4.1.

Bảng 1.4.1

Bước sóng $\lambda(\mu m)$	0,29	0,30	0,31	0,33	0,35
Hệ số truyền qua $\tau_{O_3,\lambda}$	0	0,10	0,50	0,90	1,00

Khi $\lambda > 2,3\mu m$ thì hệ số truyền qua lớp khí quyển là rất nhỏ (do bị các phân tử nước H₂O và CO₂ hấp thụ) nên năng lượng của bức xạ hồng ngoại khi đến mặt đất chỉ còn khoảng 5% so với vùng ngoài lớp khí quyển.

Hệ số truyền qua của bức xạ tán xạ khi xuyên qua lớp khí quyển bao gồm tất cả những yếu tố trên và có tính đến khả năng hấp thụ được mô tả bằng biểu thức

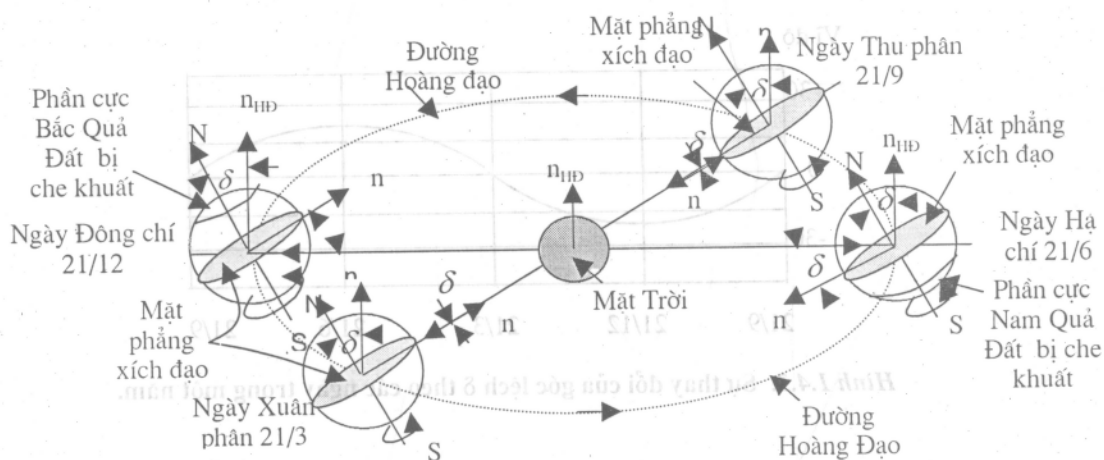
$$\tau_{\lambda} = \tau_{a(S)} \tau_{\lambda(\text{hấp thụ})} = \tau_{\lambda(S)} \tau_{O_3} \tau_{w,\lambda} \quad (1.4.6)$$

trong đó, $\tau_{\lambda(S)}$ - hệ số truyền qua chỉ phụ thuộc chiều dài sóng; τ_{O_3} - hệ số truyền qua chỉ phụ thuộc lượng khí ozon; và $\tau_{w,\lambda}$ - hệ số truyền qua chỉ phụ thuộc lượng hơi nước trong không khí.

^(*)Theo lý thuyết tán xạ của Rayleigh thì sóng ngắn bị tán xạ hầu hết, vì vậy nên bức xạ khuếch tán có khuynh hướng là sóng ngắn.

1.4.3. Ảnh hưởng bởi khoảng cách giữa Mặt Trời và Trái Đất

Để xem xét ảnh hưởng của khoảng cách giữa Quả Đất và Mặt Trời đến cường độ bức xạ Mặt Trời trên mặt đất, khi Quả Đất chuyển động trên quỹ đạo của nó trong chu kỳ một năm. Một cách gần đúng có thể xem Quả Đất là một quả cầu quay xung quanh Mặt Trời trên quỹ đạo gần tròn (dạng ellip, còn được gọi là *Hoàng Đạo*) có bán kính trung bình là $R=1,495.10^{11}m$ (Hình 1.4.2). Thời gian cần thiết để Quả Đất quay được một vòng xung quanh Mặt Trời là 365 và 1/4 ngày, hay một năm. Ngoài chuyển động quay xung quanh Mặt Trời, Quả Đất còn tự quay xung quanh trục riêng của nó. Trục quay riêng này là một đường thẳng đi qua hai cực của Quả Đất, hợp với pháp tuyến của mặt phẳng Hoàng Đạo một góc $\delta = 23^{\circ}45'$. Quả Đất quay một vòng xung quanh trục quay riêng của nó hết 24 giờ, hay một ngày đêm. Mặt phẳng vuông góc với trục của Quả Đất và cắt Quả Đất một tiết diện lớn nhất gọi là *mặt phẳng xích đạo*, còn đường tròn lớn nhất là giao tuyến giữa mặt phẳng xích đạo và mặt cầu Trái Đất gọi là *đường xích đạo*. Sự định hướng của trục Quả Đất cùng với sự chuyển động của nó xung quanh Mặt Trời và xung quanh trục quay riêng của nó, dẫn đến sự thay đổi khoảng cách giữa Quả Đất và Mặt trời, cũng tức là thay đổi cường độ bức xạ Mặt Trời trên bề mặt Quả Đất hàng ngày, hàng tháng và hàng mùa trong một năm.



Hình 1.4.2. Mô tả chuyển động của Quả Đất quay quanh Mặt Trời trong năm.

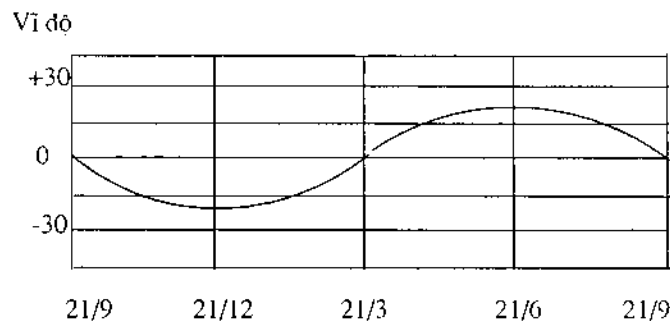
Hình 1.4.2 chỉ vị trí của Quả Đất đối với các tia sáng Mặt Trời ở các thời điểm Hạ chí (21-6), Đông chí (21-12); Xuân phân (21-3) và Thu phân (21-9). Đối với ngày Hạ chí, các tháng ở hai bên ngày này các vị trí ở Bắc Bán Cầu tia Mặt Trời chiếu “trực diện” hơn và khoảng cách đến Mặt Trời ngắn hơn. Do vậy, Bắc Bán Cầu nhận được nhiều bức xạ Mặt Trời hơn, ngày dài và đêm ngắn. Ngược lại trong các tháng đó phần

Nam Bán Cầu khoảng cách đến Mặt Trời dài hơn nên nhận được bức xạ Mặt Trời ít hơn, và thời gian này là mùa đông đối với Nam Bán Cầu. Ở vị trí các tháng ở hai bên điểm Đông chí (21-12) tình hình hoàn toàn ngược lại. Lúc đó Bắc Bán Cầu là mùa đông thì Nam Bán Cầu là mùa hạ. Ở hai vị trí trung gian khác của Quả Đất là vị trí vào ngày Xuân phân (21-3) và vào ngày Thu phân (21-9) thì tia bức xạ chiếu thẳng trên đường xích đạo, nên cả hai phần quả cầu, Bắc và Nam Bán Cầu cách đều Mặt Trời. Ở mọi địa phương trên mặt đất có 12 giờ ban ngày và 12 giờ ban đêm. Tuy nhiên tại các điểm nằm trên các cực thì các tia bức xạ cũng yếu hơn các điểm nằm ngay trên đường xích đạo.

Góc hợp bởi các tia bức xạ Mặt Trời nằm trong mặt phẳng Hoàng Đạo tạo với mặt phẳng xích đạo của Quả Đất gọi là góc lệch δ (declination angle). Ở ngày Hạ chí, góc δ này bằng $+23^{\circ}45'$; ở ngày Đông chí δ bằng $-23^{\circ}45'$. Để tính góc lệch δ ở các ngày bất kỳ trong năm ta có thể dùng phương trình Cooper (1969) cho dưới đây

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{284 + n}{365}\right) 360 \quad (\text{độ}) \quad (1.4.7)$$

trong đó, n là số thứ tự ngày tính từ ngày 1 tháng giêng. Hình 1.4.3 biểu diễn sự biến đổi của δ theo thời gian trong năm.



Hình 1.4.3. Sự thay đổi của góc lệch δ theo các ngày trong một năm.

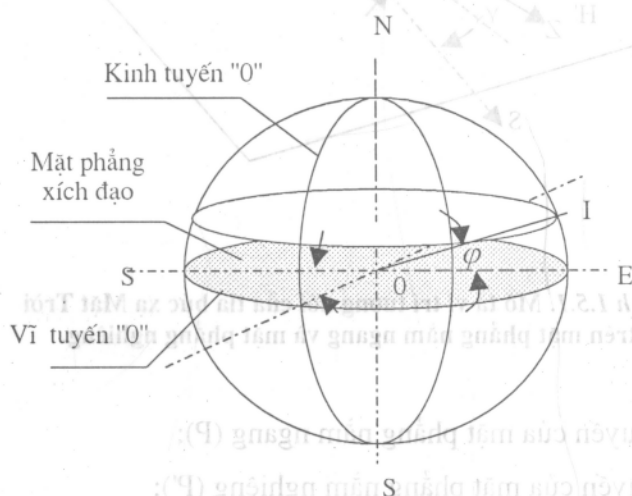
§1.5. Vị trí theo giờ của Mặt Trời và hướng của tia bức xạ trên các mặt phẳng

1.5.1. Định nghĩa các góc tạo ra bởi chùm tia bức xạ với các mặt phẳng

Bức xạ Mặt Trời còn phụ thuộc vào độ cao của Mặt Trời, hay vị trí của nó trên bầu trời. Dưới đây ta sẽ đưa ra một số biểu thức cho phép xác định vị trí theo giờ của Mặt trời và bức xạ của nó chiếu trên một mặt phẳng bất kỳ trên mặt đất (hình 1.5.1).

Ngoài ra ta còn phải định nghĩa thêm các góc có liên quan đến toạ độ của địa điểm đặt thiết bị trên mặt đất, và vị trí của Mặt Trời trên bầu trời tại thời điểm đang xét.

- *Góc vĩ tuyến φ* . Các đường tròn vẽ trên mặt đất và nằm trong các mặt phẳng song song với mặt phẳng xích đạo được gọi là các mặt vĩ tuyến. Góc hợp bởi đoạn thẳng nối từ gốc 0 đến điểm I (hình 1.5.2), là điểm cắt nhau giữa mặt phẳng vĩ tuyến và mặt cầu gọi là *Góc vĩ tuyến φ* . Đường xích đạo ứng với vĩ tuyến "0", các góc từ đường xích đạo lên Cực Bắc gọi là *vĩ độ bắc* $\varphi = 0 \div 90^\circ N$ (quy ước là $\varphi > 0$), các góc từ đường xích đạo xuống cực Nam gọi là *vĩ tuyến nam* $\varphi = 0 \div -90^\circ S$ (quy ước là $\varphi < 0$). Như vậy cường độ bức xạ Mặt Trời tại một điểm bất kỳ trên mặt đất thay đổi phụ thuộc vào góc vĩ tuyến φ .



Hình 1.5.2. Quả Đất, mặt phẳng xích đạo và vĩ tuyến.

- *Góc kinh tuyến*. Điểm cắt trực quay riêng của Quả Đất với bề mặt của nó ở phía trên gọi là *điểm Cực Bắc (N)*, và ở phía dưới gọi là *điểm Cực Nam (S)*. Các nửa đường tròn vẽ trên mặt Quả Đất và đi qua hai điểm Cực Bắc và Cực Nam (chứa trục quay của Quả Đất) gọi là *kinh tuyến* (ký hiệu Φ). Người ta quy ước *kinh tuyến gốc* (còn gọi là *kinh tuyến "0"*) là kinh tuyến đi qua Greenwich, thủ đô London, Vương quốc Anh. Các kinh tuyến còn lại được đặt tên theo góc lần lượt từ kinh tuyến "0" và kinh tuyến tiếp theo. Tâm O của Quả Đất là đỉnh của các kinh tuyến (hình 1.5.2). Các kinh tuyến nằm ở phía đông so với kinh tuyến gốc gọi là *kinh tuyến đông* (ký hiệu $0 \div 180^\circ E$), còn ở phía tây gọi là *kinh tuyến tây* (ký hiệu $0 \div 180^\circ W$).

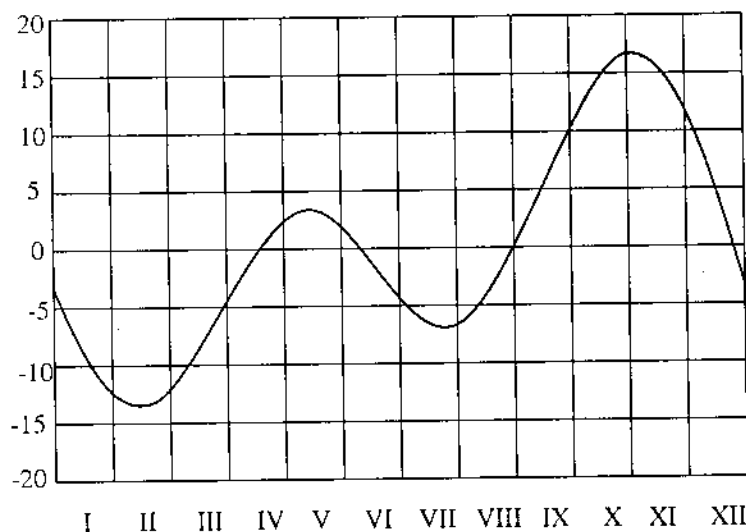
Góc giờ Mặt Trời ω là góc xác định vị trí của Mặt Trời trên bầu trời tại một thời điểm bất kỳ từ lúc Mặt Trời mọc đến lúc Mặt Trời lặn. Người ta quy ước khi Mặt Trời ở đỉnh đầu (lúc 12 giờ trưa) $\omega = 0$. Vì Quả Đất quay xung quanh trục của nó một

vòng hết 24 giờ, nên mỗi giờ nó quay được một góc $(360^\circ: 24\text{giờ})=15^\circ$. Mỗi phút kinh tuyến tương ứng với 4 phút thời gian. Nếu coi Quả Đất đứng yên thì mỗi giờ Mặt Trời chuyển động trên bầu trời được một góc 15° . Vì vậy, góc giờ của Mặt Trời tại thời điểm bất kỳ là:

$$\omega_t = (12 - T_{SV}^*)15 (\text{độ}) \quad (1.5.1)$$

trong đó, T_{SV} - giờ Mặt Trời đúng (T_{SV}). Trong thực tế đôi khi được lấy gần đúng bằng giờ địa phương $T_{SV} = t$. Ví dụ, lúc $t = 9$ giờ sáng, góc giờ Mặt Trời là $\omega = (12 - 9)15 = 45^\circ > 0$; lúc 15 giờ, góc giờ Mặt Trời $\omega = (12 - 15)15 = -45^\circ < 0$. Vậy góc giờ Mặt Trời buổi sáng có giá trị dương, và buổi chiều có giá trị âm.

* Giờ Mặt Trời đúng T_{SV}



Hình 1.5.3. Đường cong hiệu chỉnh thời gian $E(t)$.

Giờ dùng trong các biểu thức xác định góc giờ Mặt Trời, biểu thức (1.5.1) được gọi là giờ Mặt Trời đúng T_{SV} . Nó không tương ứng với giờ địa phương nên phải hiệu chỉnh từ giờ địa phương ra giờ Mặt Trời T_{SV} bằng các số hạng hiệu chỉnh: *hằng số hiệu chỉnh* tính đến sự sai khác giữa kinh tuyến địa phương và kinh tuyến gốc của quốc gia, và *phương trình hiệu chỉnh thời gian E_T* , phụ thuộc thời điểm bất kỳ trong năm, *đường cong phương trình này cho trên hình 1.5.3*. Như vậy, giờ Mặt Trời T_{SV} được xác định bằng hệ thức

$$T_{SV} = T_{LG} + E_T + 4(\varphi_{ST} - \varphi_{LG}) \quad (1.5.2)$$

trong đó : T_{LG} - giờ pháp định quốc gia tại địa phương. Gốc thời gian được tính từ kinh tuyến gốc hoặc kinh tuyến. (Giờ pháp định của Việt Nam bằng giờ của kinh tuyến gốc cộng thêm 7) ;

φ_{ST} - kinh tuyến tính giờ của Quốc gia (Việt Nam lấy $\varphi_{ST}=105E$);

φ_{LG} - kinh tuyến địa phương (độ), dương với kinh tuyến Đông, âm với kinh tuyến Tây;

E_T - Thời sai - sai lệch về thời gian thay đổi theo chu kỳ, tùy thuộc thời điểm trong năm, như đã cho trên hình (1.5.3).

Ví dụ 1.1. Tính giờ Mặt Trời tại Hà Nội lúc 10h30 của hai ngày 1/3 và 1/10. Biết toạ độ Hà Nội (21.02N, và 105.51E).

Theo biểu thức (1.5.2) và tra hàm $E(t)$ từ hình (1.5.3) ta có

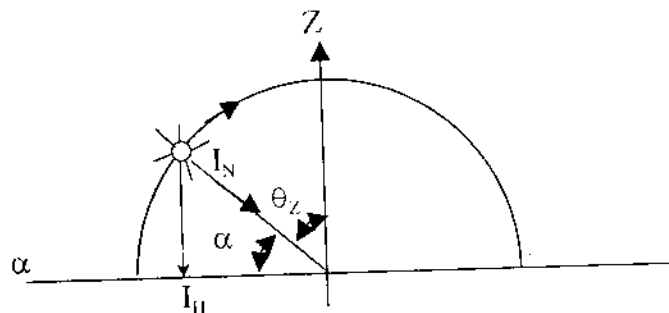
$$\text{Ngày 1/3} \quad T_{SV} = 10h30 - 12 + 4(105 - 105,51) \times 100/60 = 10h15$$

$$\text{Ngày 1/10} \quad T_{SV} = 10h30 + 10 + 4(105 - 105,51) \times 100/60 = 10h47$$

- *Góc độ cao Mặt Trời*: Ngoài ra vị trí của Mặt trời còn được xác định bằng độ cao trên bầu trời. Nếu quy ước Mặt Trời mọc ở phía đông và lặn ở phía tây thì tại một thời điểm bất kỳ vị trí của nó được xác định bởi góc α - *góc độ cao Mặt Trời*, đó là góc hợp bởi tia bức xạ trực xạ với hình chiếu của nó trên mặt phẳng nằm ngang (Hình 1.5.4), khi đó ta có $\alpha + \theta_z = 90^\circ$.

Nếu gọi cường độ của chùm bức xạ tới là I_N hợp với pháp tuyến mặt phẳng nằm ngang một góc θ_z , thì mặt phẳng ngang đó nhận được cường độ bức xạ I_H được xác định theo hệ thức

$$I_H = I_N \sin \alpha = I_N \cos \theta_z \quad (1.5.3)$$



Hình 1.5.4. Xác định góc .

Người ta đã xác định được hệ thức liên hệ giữa góc độ cao Mặt Trời α tại một thời điểm bất kỳ theo góc giờ ω , vào một ngày bất kỳ trong năm theo góc lệch δ , ở một địa điểm bất kỳ trên mặt đất theo góc vĩ tuyến φ nhờ hệ thức sau

$$\sin \alpha = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \quad (1.5.4)$$

Từ biểu thức (1.5.4) ta rút ra được các biểu thức hệ quả sau đây:

- Góc độ cao của Mặt Trời α_n ở thời điểm giữa trưa ($\omega = 0$). Khi thay $\omega = 0$ vào (1.5.4) ta có:

$$\alpha_n = 90^\circ - (\varphi - \delta) \quad (1.5.5)$$

Từ (1.5.5) ta thấy độ cao của Mặt Trời lúc giữa trưa (lúc 12 giờ), chỉ còn phụ thuộc vào vĩ tuyến (φ) và vào ngày quan sát (δ).

Cũng từ (1.5.4) ta xác định được góc giờ ω , lúc Mặt Trời mọc hoặc Mặt Trời lặn, bằng cách cho $\alpha = 0$:

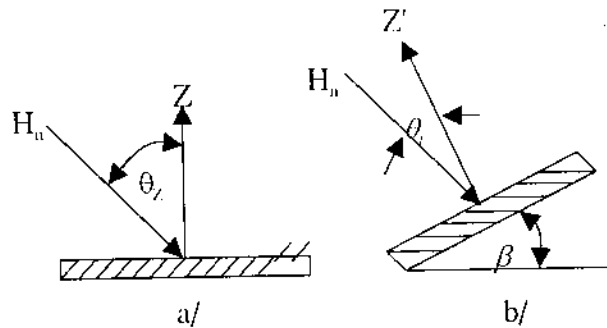
$$\cos \omega_s = -\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta \quad (1.5.6)$$

Từ (1.5.6) có thể suy ra độ dài N của ngày Mặt Trời, hoặc số giờ có ánh sáng Mặt Trời (bức xạ trực xạ) trong một ngày là

$$N = \frac{2\omega_s}{15} = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta) \quad (1.5.7)$$

- Bây giờ ta tìm hệ thức khi Mặt Trời cũng ở độ cao α nhưng tia trực xạ I_N chiếu lên mặt phẳng nghiêng với góc tới θ_T (Hình 1.5.5), khi đó cường độ tia bức xạ I_β trên mặt phẳng nghiêng sẽ là:

$$I_\beta = I_N \cos \theta_T \quad (1.5.8)$$



Hình 1.5.5. Tia bức xạ tới : a/ trên mặt phẳng nằm ngang 0_Z ; b/ trên mặt phẳng nghiêng 0_T .

Từ hình (1.5.1) và các phương trình (1.5.3), (1.5.4) và (1.5.8) tính được $\cos \theta_T$ xác định theo biểu thức sau:

$$\cos \theta_T = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta \cos \Delta A_Z \quad (1.5.9)$$

Trong đó

$$\Delta A_Z = \gamma_s - \gamma$$

với γ là góc lệch Azimuth của mặt phẳng nghiêng đang xét, đó là góc giữa hướng Nam và hình chiếu của pháp tuyến của mặt phẳng nghiêng trên mặt phẳng ngang. Quy ước góc $\gamma > 0$ khi mặt phẳng nghiêng lệch về hướng đông, và $\gamma < 0$ khi mặt phẳng nghiêng lệch về hướng tây. Đặt biểu thức $\sin \alpha$ (1.5.3) vào (1.5.9) và dùng các hệ thức:

$$\cos \alpha \cos \gamma_S = \sin \varphi \cos \delta \cos \omega + \cos \varphi \sin \delta$$

$$\text{và} \quad \cos \alpha \sin \gamma_S = \cos \delta \sin \omega$$

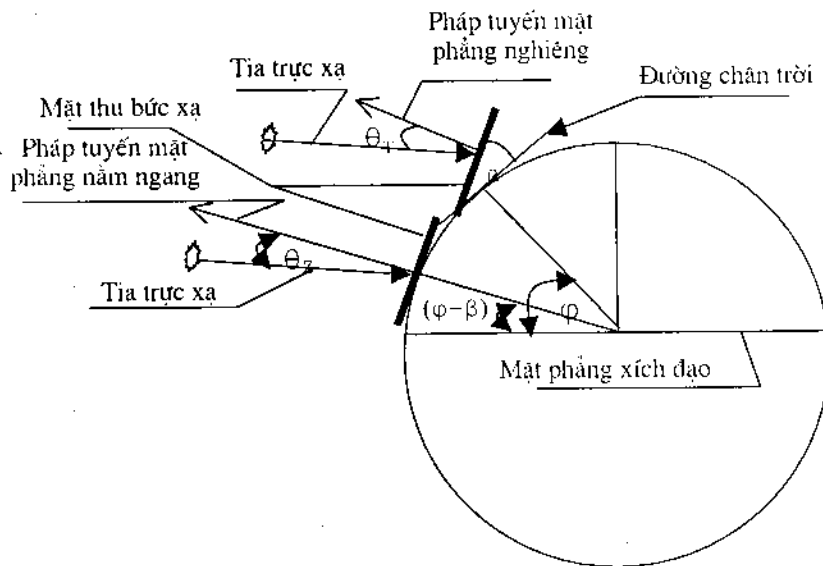
ta được biểu thức cuối cùng xác định góc θ_T :

$$\begin{aligned} \cos \theta_T = & \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \varphi \cdot \cos \beta \cos \delta \cdot \cos \omega + \\ & + \cos \delta \cdot \cos \omega \sin \varphi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \sin \omega \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \end{aligned} \quad (1.5.10)$$

Trong nhiều trường hợp phép tính còn được đơn giản hoá. Ví dụ, để xác định một bộ thu phẳng được đặt ngay trên mặt phẳng xích đạo vào lúc 12h ($\gamma=0$) thì số hạng cuối cùng trong biểu thức (1.5.10) được loại bỏ. Nếu góc nghiêng $\beta = 90^\circ$ (ứng với mặt phẳng thẳng đứng) thì số hạng thứ hai, số hạng thứ ba và thứ năm bị loại bỏ. Còn nếu $\beta = 0$ (ứng với mặt phẳng nằm ngang) thì chỉ còn số hạng thứ nhất và số hạng thứ ba, và khi đó phương trình (1.5.10) chỉ còn là

$$\cos \theta_Z = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega \quad (1.5.11)$$

Nếu mặt phẳng nghiêng có cùng góc nghiêng β ở cả hai phía chính Bắc và chính Nam (tức góc $\gamma=0$), và lúc Mặt Trời ở vị trí độ cao góc α đồng thời chiếu vào hai mặt phẳng song song: mặt nghiêng góc β đặt tại vĩ tuyến φ , và mặt ngang ($\beta=0$) đặt tại vĩ tuyến $(\beta - \varphi)$, hai mặt phẳng này song song nhau, như mô tả trên hình (1.5.6).



Hình 1.5.6. Sự tương tự các góc φ và $(\varphi - \beta)$ trong các công thức (1.5.11) và (1.5.12).

Khi đó ta chỉ cần thay $\theta_z = \theta_T$ và $\varphi = (\varphi - \beta)$ vào phương trình (1.5.11) ta sẽ nhận được phương trình xác định góc tới trên mặt phẳng nghiêng như sau.

$$\cos \theta_T = \sin \delta \sin(\varphi - \beta) + \cos \delta \cos(\varphi - \beta) \cos \omega \quad (1.5.12)$$

Từ (1.5.11) và (1.5.12) ta thấy khi cùng một giá trị cường độ bức xạ gửi tới nhưng các giá trị nhận được trên các mặt phẳng nằm ngang và mặt phẳng nằm nghiêng là khác nhau.

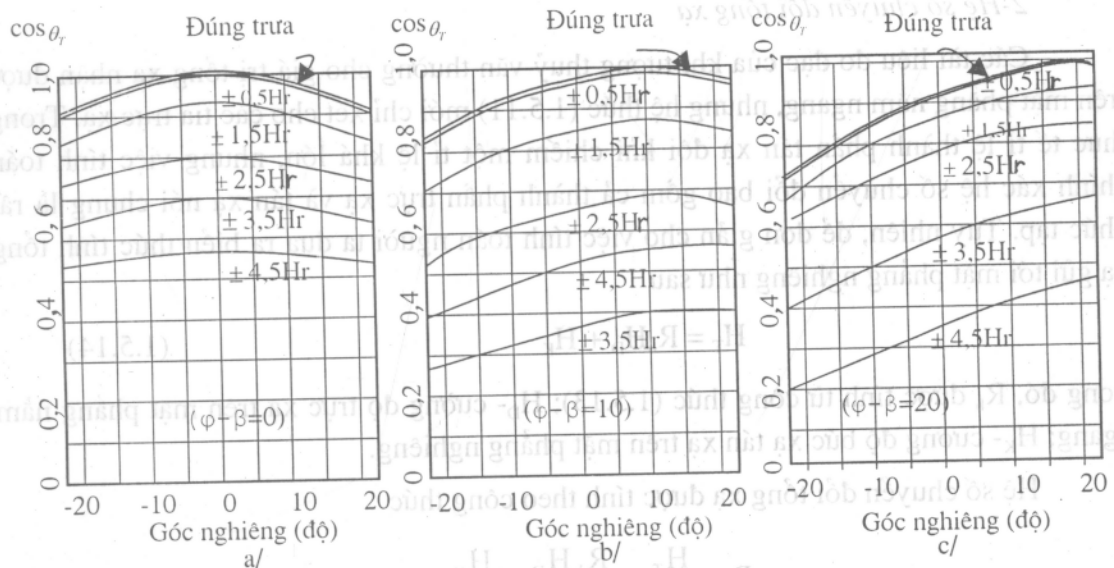
1.5.2. Hệ số chuyển đổi bức xạ từ mặt phẳng nằm ngang sang mặt phẳng nằm nghiêng

1- Hệ số chuyển đổi bức xạ trực xạ

Ta biết rằng các số liệu cho trong các sổ tay bức xạ đều nhận trên mặt phẳng nằm ngang, nhưng trong thực tế các bộ thu lại được đặt trên mặt phẳng nghiêng, góc nghiêng phụ thuộc vĩ tuyến, vĩ tuyến càng lớn góc nghiêng β càng lớn (ở Bắc Bán Cầu đặt nghiêng hướng về phía nam và ngược lại) để có được góc tới θ_T bé nhất, cũng có nghĩa là bộ thu nhận được giá trị cường độ bức xạ lớn nhất. Chính vì vậy khi tính toán cho bộ thu ta phải xác định hệ số chuyển đổi giá trị bức xạ trong sổ tay bức xạ theo phương trình (1.5.11) sang mặt nghiêng theo phương trình (1.5.12) nhờ hệ thức chuyển đổi dưới đây:

$$R_b = \frac{H_T}{H} = \frac{H_n \cos \theta_T}{H_n \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_z} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta} \quad (1.5.13)$$

R_b được gọi là hệ số chuyển đổi trực xạ.



Hình 1.5.7. Cosin góc nghiêng θ_T của mặt phẳng nghiêng hướng về xích đạo phụ thuộc góc $(\beta - \varphi)$. Theo Hottel và Woertz (1942), Hr- độ lệch lúc 12 giờ trưa và giờ quan sát.

Để tính $\cos \theta_z$ hoặc $\cos \theta_r$ khi không có máy tính người ta còn có thể dùng đồ thị được Hottel và Woertz xây dựng như đã cho trên hình 1.5.7a,b,c.

Các hình này mô tả mối quan hệ $\cos \theta_r$ phụ thuộc độ nghiêng và góc giờ ứng với các giá trị của $(\varphi - \beta) = 0^\circ; \pm 10^\circ$ và $\pm 20^\circ$ được biểu diễn trên trục hoành. Nếu $(\varphi - \beta)$ có giá trị âm thì giá trị của $\cos \theta_r$ được lấy về phía âm trên trục hoành (bên trái số "0"). Giá trị của $\cos \theta_z$ cũng có thể tra từ các đường cong cho trên hình (1.5.7.a,b,c) bằng cách coi giá trị ghi trên trục hoành là của góc φ , tương ứng với mặt phẳng nằm ngang ($\beta = 0^\circ$), khi đó giá trị trên trục tung là $\cos \theta_z$. Các đường cong cho trên hình tương ứng với độ chênh lệch giờ H_r giữa giờ đúng trưa và giờ quan sát, (các giờ trước và sau 12 giờ địa phương, dấu cộng - giờ buổi sáng, dấu trừ - giờ buổi chiều)

Ví dụ 1.5.1. Xác định hệ số chuyển đổi trực xạ R_b của bộ thu đặt tại vĩ tuyến $\varphi = 20^\circ N$, với góc nghiêng $\beta = 30^\circ$, lúc 9h30 ngày 20 tháng 2.

Giải. Từ công thức (1.4.7) tính được góc lệch $\delta = -11,58^\circ$. Lúc 9h30, độ lệch giờ $H_r = (12 - 9,5) = 2,5$. Theo dấu bài $(\varphi - \beta) = (20 - 30) = -10^\circ$. Từ hình 1.5.7b ứng với đường cong $H_r = 2,5$ và -10° ta tìm được giá trị của $\cos \theta_r = 0,61$. Từ hình 1.5.7c tìm được $\cos \theta_z$ ứng với $\varphi = 20^\circ$, ứng với độ lệch giờ $H_r = 2,5$ ta tìm được giá trị của $\cos \theta_z = 0,85$. Vậy hệ số chuyển đổi trong trường hợp này bằng $R_b = 0,61/0,85 = 0,7176$. Có thể kiểm tra độ chính xác kết quả tính theo phương pháp này với áp dụng các công thức (1.5.11), (1.5.12) và (1.5.13) ta nhận được $R_b = 0,703$. Kết quả nhận được từ hai phương pháp này cho sai số $\Delta R/R = 0,02 < 5\%$ nên có thể chấp nhận được. Mặc dầu phương pháp tra bảng có sai số nhưng quá trình tính toán nhanh chóng hơn.

2-Hệ số chuyển đổi tổng xạ

Các tài liệu đo đạc của khí tượng thủy văn thường cho giá trị tổng xạ nhận được trên mặt phẳng nằm ngang, nhưng hệ thức (1.5.11) mới chỉ xét cho các tia trực xạ. Trong thực tế tỉ lệ thành phần tán xạ đôi khi chiếm một tỉ lệ khá lớn, nhưng việc tính toán chính xác hệ số chuyển đổi bao gồm cả thành phần trực xạ và tán xạ nói chung là rất phức tạp. Tuy nhiên, để đơn giản cho việc tính toán người ta đưa ra biểu thức tính tổng xạ gửi tới mặt phẳng nghiêng như sau

$$H_T = R_b H_D + H_K \quad (1.5.14)$$

trong đó, R_b được tính từ công thức (1.5.13); H_D - cường độ trực xạ trên mặt phẳng nằm ngang; H_K - cường độ bức xạ tán xạ trên mặt phẳng nghiêng.

Hệ số chuyển đổi tổng xạ được tính theo công thức

$$R = \frac{H_T}{H} = \frac{R_b H_D}{H} + \frac{H_K}{H} \quad (1.5.15)$$

Ngoài hai thành phần trực xạ và tán xạ nói trên, bộ thu còn nhận được thành phần thứ ba, đó là các bức xạ phản xạ từ các vật ở môi trường xung quanh, thường được gọi là số *Albedo*. Thành phần này cũng tỉ lệ với cả hai thành phần trực xạ và tán xạ từ Mặt Trời và bầu trời. Khi coi bầu trời là một mái vòm, trong đó các bức xạ tán xạ phân bố một cách đồng đều từ mọi phía, nếu có một mặt phẳng nào đó nằm nghiêng so với mặt phẳng nằm ngang một góc nghiêng β thì thành phần tán xạ gửi đến mặt phẳng này theo Liu (1963) ta phải đưa thêm vào công thức (1.5.15) hai hệ số điều chỉnh sau đây:

Khi coi bầu trời là một mái vòm thì thêm hệ số

$$(1 + \cos\beta)/2 \quad (1.5.16)$$

Khi kể đến sự phản xạ bức xạ từ môi trường xung quanh với hệ số phản xạ ρ thì thêm hệ số

$$(H_D + H_K) \frac{(1 - \cos\beta)\rho}{2} \quad (1.5.17)$$

Khi đó tổng xạ gửi đến mặt phẳng nghiêng sẽ bao gồm cả ba số hạng

$$H_T = R_b H_D + H_K \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + (H_D + H_K) \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \rho \quad (1.5.18)$$

và hệ số chuyển đổi tổng xạ được xác định bằng hệ thức

$$R = \frac{H_D R_b}{H} + \frac{H_K}{H} \frac{(1 + \cos\beta)}{2} + \frac{(1 - \cos\beta)}{2} \rho \quad (1.5.19)$$

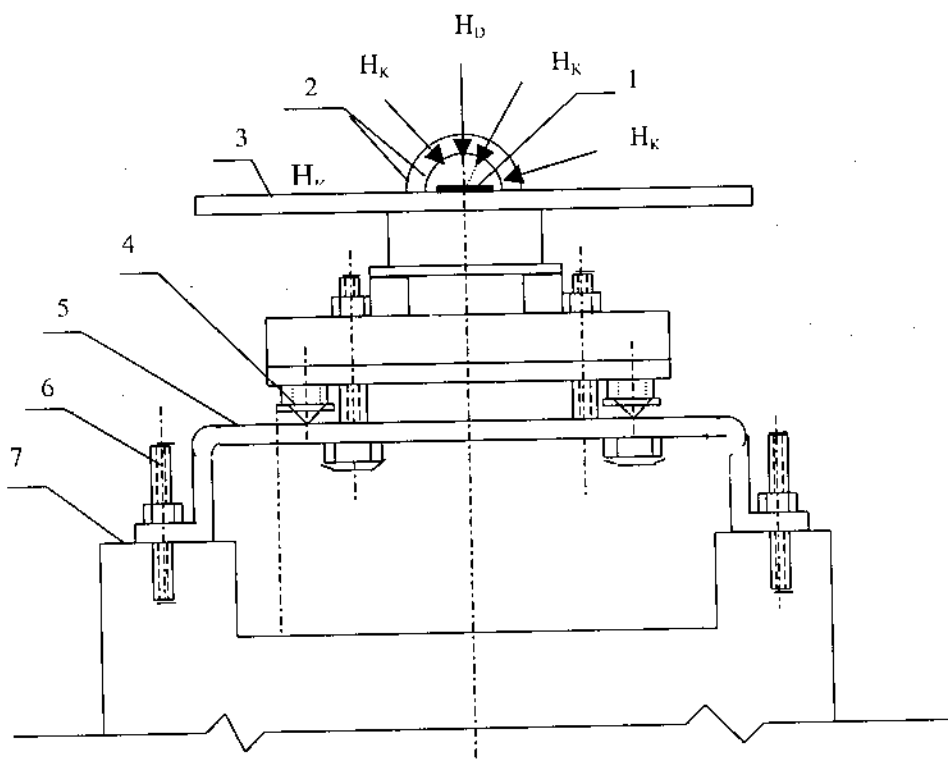
Theo Liu và Jordan đề nghị khi môi trường chung quanh không có tuyết lấy giá trị $\rho=0,2$, còn khi môi trường chung quanh có tuyết trắng phủ đầy lấy giá trị $\rho=0,7$.

§1.6. Các thiết bị đo bức xạ Mặt Trời và giờ nắng

1.6.1. Máy đo cường độ bức xạ - Bức xạ kế (Pyranometer)

Bức xạ kế dùng để đo cường độ bức xạ bao gồm: tổng xạ và bức xạ khuếch tán hay tán xạ. Hình 1.6.1 mô tả sơ đồ máy đo bức xạ tổng xạ hoặc tán xạ.

Nguyên lý hoạt động của bức xạ kế như sau: Mặt thu bức xạ (1) là một bộ cảm biến có độ nhạy cao, ứng dụng các hiệu ứng nhiệt, nhiệt-điện hoặc quang-điện. Ví dụ, nếu ứng dụng hiệu ứng nhiệt thì người ta sơn một lớp sơn hấp thụ chọn lọc đặc biệt lên một tấm kim loại mỏng, dẫn nhiệt tốt. Lớp sơn này có hệ số hấp thụ rất cao và hệ số phát xạ rất thấp đối với các bước sóng dài $\lambda > 0,3\mu\text{m}$. Khi phơi dưới nắng mặt hấp thụ bị nung nóng nhờ nhận bức xạ Mặt Trời. Mặt hấp thụ cân bằng nhiệt khi năng lượng hấp thụ cân bằng với năng lượng mất mát ra môi trường chung quanh do hiện tượng truyền nhiệt bằng đối lưu và bức xạ.



Hình 1.6.1. Sơ đồ máy đo tổng xạ.

1- mặt đen hấp thụ; 2- vòm thủy tinh bán cầu; 3- mặt phẳng nằm ngang song song với mặt nước biển;
4- vít điều chỉnh thăng bằng mặt 3; 5- khung giá đỡ máy; 6- vít cố định giá đỡ; 7- chân đế; H_K - bức xạ khuếch tán; H_D - bức xạ trực xạ.

Mặt đáy của tấm đen được hàn với một cặp pin nhiệt điện có suất điện động nhiệt điện lớn. Hai đầu còn lại của cặp nhiệt điện được giữ ở nhiệt độ không đổi. Giá trị của điện áp ở đầu ra của cặp nhiệt điện tỷ lệ với cường độ bức xạ gửi tới mặt hấp thụ. Từ đó người ta chuyển giá trị thang đo bằng điện áp (mV) sang giá trị thang đo bằng cường độ bức xạ, nên có thể đọc trực tiếp giá trị của bức xạ (W/m^2). Nếu ứng dụng hiệu ứng nhiệt điện thì người ta thay thế tấm kim loại hấp thụ bằng nhiều cặp pin nhiệt điện ghép nối tiếp. Khi được nung nóng các cặp pin nhiệt điện sinh ra suất điện động. Suất điện động này cũng tỷ lệ với cường độ bức xạ gửi tới mặt hứng năng. Đo điện áp hai đầu cực pin có thể suy ra cường độ bức xạ. Bộ cảm biến cũng có thể dùng tấm pin quang điện, điện áp đầu ra của tấm pin quang-điện cũng tỷ lệ với cường độ bức xạ mà nó nhận được. Khi biết điện áp đầu ra ta có thể suy ra được giá trị cường độ bức xạ. Vòm cầu (2) được cấu tạo bởi hai lớp bán cầu thủy tinh có các đường kính 30cm và 50cm lồng vào nhau. Tâm của hai bán cầu nằm trên mặt cảm biến. Vòm cầu này dùng để bảo vệ mặt cảm biến đồng thời hạn chế sự mất nhiệt ra môi trường chung quanh bởi hiện tượng đối lưu. Vòm

bán cầu và tấm hấp thụ được gắn chặt với tấm phẳng (3). Khi làm việc tấm này phải đảm bảo song song với mặt nước biển nhờ điều chỉnh các vít (4) sao cho bọt nước thăng bằng trong hộp nước được nằm ngay giữa tấm. Toàn bộ bức xạ kế được đặt trên giá đỡ (5). Giá đỡ này được cố định với đế (7) bằng các vít (6).

Bức xạ kế loại này dùng đo được trực tiếp cường độ bức xạ tổng xạ như mô tả trên hình 1.6.1. Nhưng cũng có thể dùng để đo cường độ bức xạ tán xạ hay khuếch tán, bằng cách dùng một tấm kim loại sơn đen che kín toàn bộ mặt cảm biến (3) để ngăn các chùm tia trực xạ chiếu trực tiếp lên mặt cảm biến. Trong khi đó các chùm tia khuếch tán từ mọi phương đều có thể tới được bề mặt của bộ cảm biến. Vì phương chiếu của chùm tia trực xạ luôn thay đổi từ Đông sang Tây, nên đôi khi người ta dùng một dải băng kim loại dạng cung tròn, có bán kính từ 50cm đến 80cm, chiều rộng bằng đường kính của bán cầu trong và đặt theo hướng Đông-Tây. Điều chỉnh góc nghiêng của băng kim loại sao cho trong suốt thời gian đo, bóng che của nó luôn che kín mặt cảm biến. Sở dĩ khung kim loại có đường kính lớn hơn một ít so với đường kính của bán cầu lớn để bóng che của nó vừa che được các chùm tia trực xạ vào mặt cảm biến, lại vừa ngăn cản ít nhất các chùm tia khuếch tán tới bề mặt cảm biến.

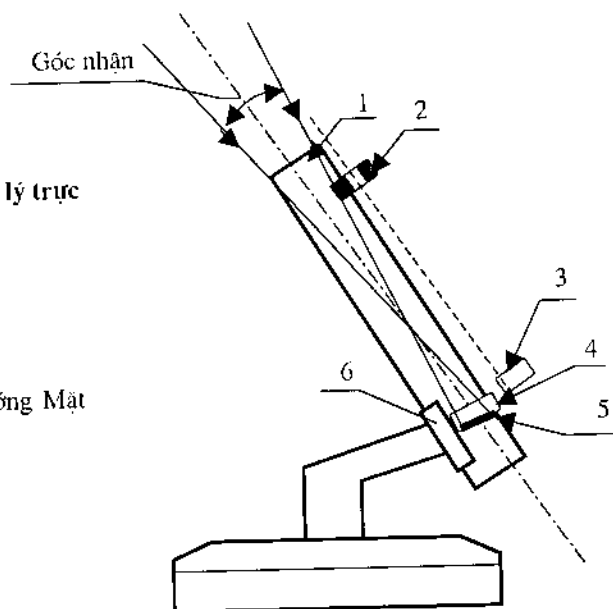
1.6.2. Máy đo trực xạ (Pyreheliometer)

Như ta đã biết, tổng xạ là tổng của trực xạ, tán xạ, bức xạ khuếch tán và bức xạ phản xạ từ môi trường chung quanh, nên ta không thể coi hiệu của tổng xạ và tán xạ là giá trị đo của trực xạ. Vì thế nên người ta phải dùng một dụng cụ đo khác là máy đo trực xạ còn được gọi là *trực xạ kế*.

Sơ đồ của trực xạ kế được mô tả trên hình 1.6.2.

Hình 1.6.2. Sơ đồ nguyên lý trực xạ kế:

- 1- ống thu trực xạ;
- 2- lỗ định vị;
- 3- ảnh định vị;
- 4- mặt cảm biến;
- 5- đầu nối lấy điện áp;
- 6- bộ điều khiển theo hướng Mặt Trời.



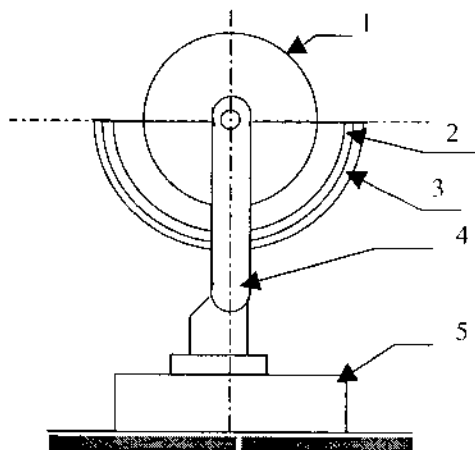
Nguyên lý kết cấu máy gồm ống hình trụ (1) đường kính 15mm chiều dài 120mm, mặt trong được sơn đen để khử các tia phản xạ từ thành ống. Mặt ngoài được gắn thêm vấu có lỗ định vị để tia bức xạ trực xạ xuyên qua được, vấu (3) dùng để hứng ảnh của lỗ định vị (2). Ở đáy ống người ta đặt một bộ cảm biến như đã nói ở mục 1.6.1 để hứng chùm tia trực xạ. Điện áp được đưa ra ngoài nhờ đầu nối (5). Bộ phận điều khiển (6) điều khiển ống thu trực xạ luôn luôn hướng về phía Mặt Trời thông qua ảnh định vị (3). Khi ảnh định vị lệch khỏi vị trí định trước thì máy sẽ tự động điều chỉnh để đưa ảnh về đúng vị trí ban đầu.

1.6.3. Máy đo thời gian nắng

Sơ đồ cấu tạo máy đo thời gian nắng được mô tả trên hình (1.6.3) bao gồm: Một quả cầu đặc bằng thủy tinh có độ trong suốt cao, được đặt trên một giá cung tròn đồng tâm với quả cầu, và cũng là đồng tâm với đường tiêu của quả cầu. Mặt trong của giá cung tròn được đặt trùng với mặt tiêu của quả cầu. Tất cả các chùm tia trực xạ và tán xạ khi xuyên qua nửa bán cầu trên đều hội tụ tại tiêu điểm của quả cầu. Ở đây người ta đặt một băng giấy đặc biệt (có in sẵn vạch chia thời gian từ lúc Mặt Trời mọc đến lúc Mặt Trời lặn) dọc theo suốt chiều dài cung tròn 3. Khi trời có nắng và cường độ bức xạ đạt tới một giá trị nào đấy (bắt đầu được gọi là có nắng) băng giấy sẽ bị cháy sém. Sau một ngày tờ giấy được lấy ra và đọc tổng chiều dài của các đoạn giấy bị cháy sém sẽ biết thời gian nắng trong ngày. Nếu cả ngày có nắng liên tục thì toàn bộ chiều dài băng giấy đều bị cháy sém. Nếu thỉnh thoảng trời lại có mây che thì lúc có nắng đoạn giấy bị cháy sém, còn lúc không có nắng băng giấy không bị cháy. Số giờ nắng trong trường hợp này là tổng chiều dài các đoạn bị cháy sém trên mặt giấy.

Hình 1.6.3. Sơ đồ máy đo thời gian nắng:

- 1- quả cầu đặc thủy tinh;
- 2- băng giấy;
- 3- cung tròn;
- 4- giá đỡ quả cầu và cung tròn;
- 5- bộ đặt máy đo.



Cường độ bức xạ trực xạ, tán xạ và thời gian nắng của từng địa phương của mỗi quốc gia đều lấy giá trị trung bình của các ngày trong tháng và của các tháng trong

nhiều năm, được trình bày trong các bảng sổ tay bức xạ, và được coi là tài sản của quốc gia đó.

§1.7. Năng lượng bức xạ Mặt Trời ở Việt Nam

1.7.1. Cường độ bức xạ

Theo kết quả nghiên cứu của đề tài tài cấp Nhà nước mang mã số 52C-01-01a đã tiến hành xử lý số liệu quan trắc của 112 trạm khí tượng thủy văn phân bố trên toàn quốc về bức xạ Mặt Trời và thời gian nắng, được thu thập liên tục trong khoảng thời gian 18 ÷ 29 năm, mỗi ngày tiến hành 5 lần quan trắc vào các giờ 6h30; 9h30; 12h30; 15h30 và 18h30.

- Giá trị cường độ tổng xạ trung bình ngày được tính theo công thức

$$\overline{Q_d} = \frac{\overline{Q_i}}{2} \tau_{\text{mọc}} + \left(\frac{\overline{Q_i}}{2} + \sum_{i=2}^n \overline{Q_i} + \frac{\overline{Q_k}}{2} \right) + \frac{\overline{Q_k}}{2} \tau_{\text{lặn}} \quad (\text{kWh/m}^2/\text{n}) \quad (1.7.1)$$

trong đó, $\overline{Q_d}$ - lượng tổng xạ cả ngày trung bình;

$\overline{Q_i}$ - cường độ tổng xạ trung bình ở kỳ quan trắc đầu có giá trị $Q > 0$;

$\overline{Q_k}$ - cường độ tổng xạ trung bình ở kỳ quan trắc cuối có giá trị $Q > 0$;

$\tau_{\text{mọc}}$ - khoảng thời gian giữa lúc Mặt Trời mọc và kỳ quan trắc đầu có $Q > 0$;

$\tau_{\text{lặn}}$ - khoảng thời gian giữa lúc Mặt Trời lặn và kỳ quan trắc cuối có $Q > 0$.

- Giá trị cường độ tổng xạ trung bình cả năm ($\text{kWh/m}^2/\text{năm}$) hay ($\text{kWh/m}^2/\text{N}$)

$$\overline{Q_i} = \frac{\sum_i S_i Q_i}{\sum_i S_i} \quad (\text{kWh/m}^2/\text{N}) \quad (1.7.2)$$

trong đó, S_i - diện tích của địa phương có đặt trạm quan trắc thứ i ;

Q_i - cường độ bức xạ trung bình trong nhiều năm tại trạm quan trắc thứ i ;

$\sum_i S_i$ - tổng diện tích của nhóm địa phương hoặc tất cả các địa phương trong toàn quốc (theo số liệu thống kê năm 1989).

Cường độ bức xạ trung bình ngày và trung bình năm cho trong bảng 1.7.1

1.7.2. Số giờ nắng trong cả năm

Số giờ nắng được đo bằng nhật quang ký *Cambell-Stocker*, trong đó có một số rất ít trạm dùng nhật quang ký *Jordan*, nhưng sự khác nhau giữa hai loại này là không đáng kể. Các giờ nắng được tính khi cường độ bức xạ (CDBX) có giá trị $Q \geq 140 \text{W/m}^2$.

đã để lại vết cháy trên giấy giản đồ. Dựa vào số liệu đo được của 112 trạm để tính số giờ nắng trung bình trong vùng lãnh thổ. Số giờ nắng trung bình cả năm của các vùng lãnh thổ được cho trong bảng 1.7.2 trên cơ sở tính theo công thức(1.7.3)

Bảng 1.7.1

Vùng lãnh thổ	Tên địa phương	CDBX trung bình	
		(kWh/m ² /n)	((kWh/m ² /N)
1	Vùng núi phía Bắc, Đông Bắc, Đồng bằng sông Hồng đến Vinh- Nghệ An	3,91	1.427
2	Vùng núi Tây Bắc, Thanh Hoá, Hà Tĩnh, Quảng Bình, Quảng Trị	4,44	1.549
3	Thừa Thiên - Huế, ven biển từ Đà Nẵng đến Phú Yên, Kon Tum, Gia Lai, các tỉnh Miền Đông Nam Bộ, T.P Hồ Chí Minh, các tỉnh Đồng bằng sông Cửu Long	4,80	1.799
4	Đắk Lắk, Lâm Đồng, Khánh Hoà, Ninh Thuận, Bình Thuận, Bà Rịa Vũng Tàu	5.61	2.084
	Cả nước	4,59	1.675

Bảng 1.7.2

Vùng lãnh thổ	Tên địa phương	Số giờ nắng trung bình trong năm
1	Điện Biên, Lai Châu, Sơn La Mộc Châu	1.930
2	Lào Cai, Hà Giang, vùng Tây Bắc Bắc Bộ	1.452
3	Vùng núi phía Bắc, Đông Bắc, Đồng bằng sông Hồng, và Bắc khu IV cũ (đến Hà Tĩnh)	1.631
4	Quảng Bình, Quảng Trị, Vùng núi Thừa Thiên - Huế	1.818
5	Vùng ven biển từ Quảng Trị, Thừa Thiên-Huế đến Ninh Thuận	2.294
6	Phan Thiết (Bình Thuận)	2.961
7	Kon-Tum, Gia Lai, Đắk Lắk, Lâm Đồng	2.431
8	Đông Nam Bộ, TP. Hồ Chí Minh, Đồng bằng sông Cửu Long	2.411
	Trung bình cả nước	1.854

$$\bar{T} = \frac{\sum_i S_i T_i}{\sum_i S_i} (h/N) \quad (1.7.3)$$

trong đó, T - số giờ nắng trung bình trong năm (h/N);

S_i - diện tích của địa phương có đặt trạm quan trắc thứ i (km^2);

T_i - tổng số giờ nắng trung bình trong nhiều năm tại trạm đo thứ i (h/N);

$\sum_i S_i$ - tổng diện tích của nhóm địa phương hoặc tất cả các địa phương trong cả nước (theo số liệu thống kê năm 1989).

Ghi chú. Số giờ nắng trung bình cả năm của các trạm có giá trị đo xấp xỉ nhau được xếp thành một nhóm lãnh thổ và được tính theo công thức (1.7.3).

Câu hỏi và bài tập cuối chương 1

Câu hỏi.

- 1- Giải thích ý nghĩa của góc lệch δ bằng hình vẽ và nêu nguyên nhân thay đổi giá trị của nó từng ngày trong năm?. Viết biểu thức tính δ cho một ngày bất kỳ?
- 2- Định nghĩa hằng số Mặt Trời và nêu những nguyên nhân làm giảm giá trị của hằng số này?
- 3- Mô tả mối liên hệ giữa tia bức xạ với mặt phẳng nằm ngang và mặt phẳng nghiêng bằng hình vẽ, và định nghĩa các góc trong mối liên hệ này?
- 4- Với những giả thiết nào mà từ phương trình tổng quát (1.5.10) ta có thể rút ra được các phương trình (1.5.11) và (1.5.12)?
- 5- Nối rõ ý nghĩa của hệ số chuyển đổi R_h và R theo các biểu thức (1.5.13) và (1.5.19)?
- 6- Định nghĩa các thông số: bức xạ trực xạ, tán xạ, tổng xạ; Albedo và tỷ khối khí m (Air mass)

Bài tập

1. Tính góc lệch δ cho các ngày sau đây: 10/4 và 10/10?
2. Tính góc θ_z lúc 10h, 12h, 14h của ngày 26/6 tại vĩ độ $20,3^\circ\text{N}$?
3. Tính góc θ_i ứng với góc nghiêng $\beta = 30^\circ$ cũng vào các ngày giờ như đã cho trong bài tập số 2 ở trên?
4. Tính hệ số chuyển đổi R_h với các số liệu của hai bài tập số 2 và số 3?
5. Tính góc giờ Mặt Trời ω lúc 8h30, 10h30, 12h, 14h30 và 16h30
6. Tính góc độ cao Mặt Trời α tại các thời điểm 9h, 12h và 15h các ngày 27/5 và 27/10 tại vĩ độ $20,3^\circ\text{N}$?
7. Tính góc giờ Mặt Trời mọc và Mặt Trời lặn ω_s của các ngày 5/5 và 7/12 ở vĩ tuyến $20,3^\circ\text{N}$, và độ dài của các ngày này?
8. Tính tổng xạ gửi tới một mặt phẳng nghiêng với góc nghiêng $\beta = 42^\circ$, và hệ số chuyển đổi R ?. Biết tổng xạ và tán xạ tại thời điểm đo lúc 11h30 ngày 7/8 tương ứng là $H_0 = 835\text{W/m}^2$, $H_k = 218\text{W/m}^2$, hệ số phản xạ của môi trường xung quanh $\rho = 0,2$.

Chương 2

TƯƠNG TÁC CHÙM TIA BỨC XẠ VỚI MÔI TRƯỜNG VẬT CHẤT

§2.1. Định nghĩa các hệ số tương tác của chùm tia bức xạ lên một vật

2.1.1. Định nghĩa các hệ số tương tác

Giả sử một tia bức xạ Mặt Trời có năng lượng E_0 tác dụng lên một vật đặt trên bề mặt Trái Đất. Khi tương tác với vật chùm tia bị tách thành ba thành phần là: phản xạ, hấp thụ và truyền qua (hình 2.1.1).

Phương trình cân bằng năng lượng trong trường hợp này là:

$$E_0 = E_r + E_a + E_t \quad (2.1.1)$$

$$\text{Chia hai vế cho } E_0: E_r/E_0 + E_a/E_0 + E_t/E_0 = 1 \quad (2.1.2)$$

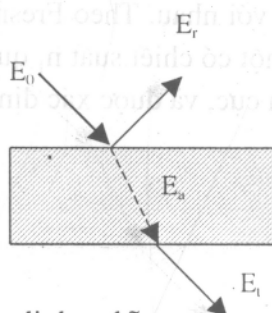
trong đó, E_0 - năng lượng bức xạ tới;

E_r - phần năng lượng bức xạ bị phản xạ từ bề mặt của vật;

E_a - phần năng lượng bức xạ bị vật hấp thụ;

E_t - phần năng lượng bức xạ được truyền qua.

Hình 2.1.1. Tương tác của tia bức xạ với môi trường không hoàn toàn trong suốt.



Các tỉ số ở vế phải phương trình (2.1.2): được định nghĩa

$E_r/E_0 = \rho$ là hệ số phản xạ,

$E_a/E_0 = \alpha$ là hệ số hấp thụ, và

$E_t/E_0 = \tau$ là hệ số truyền qua

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

(2.1.2)'

Nếu $\alpha = \tau = 0$ thì $\rho = 1$, ta có vật trắng tuyệt đối, phản xạ hoàn toàn.

Nếu $\rho = \tau = 0$ thì $\alpha = 1$, ta có vật đen tuyệt đối, hấp thụ hoàn toàn, và nếu $\alpha = \rho = 0$ thì $\tau = 1$, ta có vật trong suốt tuyệt đối.

Trong thực tế không có các trường hợp như vậy, mà mỗi vật khi tương tác với tia bức xạ Mặt Trời đều xảy ra đồng thời cả hai hoặc ba khả năng trên, nhưng tùy theo từng chất mà các khả năng đó có khác nhau. Giá trị của các hệ số này luôn nhỏ hơn 1 ($\rho, \alpha, \tau < 1$). *Vật mà các giá trị ρ, α, τ đều khác không được gọi là vật mờ.*

Dựa trên các đặc tính đó của vật chất khi tương tác với bức xạ Mặt Trời người ta chế tạo các dạng thiết bị khác nhau để thu năng lượng Mặt Trời. Sử dụng khả năng phản xạ để chế tạo các thiết bị gương hội tụ; khả năng truyền qua của kính và hấp thụ của tấm hấp thụ để chế tạo bộ thu phẳng.

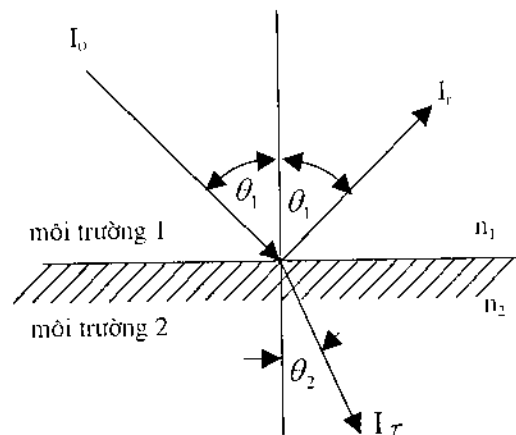
2.1.2. Thiết lập các biểu thức hệ số bức xạ tác dụng với tấm kính dày

Dưới đây chúng ta sẽ định nghĩa các hệ số phản xạ, truyền qua và hấp thụ đối với một vật không hoàn toàn trong suốt (ví dụ, kính xây dựng). Khả năng truyền qua một bề mặt của một vật phụ thuộc vào chiều dài sóng, vào góc tới của chùm tia bức xạ, vào chiết suất n của môi trường và vào hệ số suy giảm k khi xuyên qua lớp vật liệu này. Nói một cách chặt chẽ thì n và k cũng phụ thuộc vào chiều dài sóng λ , nhưng trong ứng dụng năng lượng Mặt Trời thì các phụ thuộc này là không đáng kể nên có thể bỏ qua. Dưới đây ta sẽ lần lượt thiết lập các biểu thức định lượng khi bức xạ xuyên qua mặt phân cách giữa hai môi trường có chiết suất khác nhau.

1. Hệ số phản xạ

Trước hết ta xét hiện tượng phản xạ xảy ra trên các bề mặt phân cách giữa hai môi trường tiếp xúc với nhau. Theo Fresnel thì hệ số phản xạ của bức xạ không phân cực đi từ môi trường một có chiết suất n_1 qua môi trường hai có chiết suất n_2 (h.2.1.2) sẽ xảy ra hiện tượng phản cực, và được xác định bằng biểu thức sau

Hình 2.1.2. Hiện tượng phản xạ qua hai môi trường.



$$\rho = \frac{I_r}{I_0} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \right] \quad (2.1.3)$$

trong đó, I_0 - cường độ bức xạ tới của bức xạ Mặt Trời;

I_r - cường độ bức xạ phản xạ trên bề mặt kính;

θ_1, θ_2 - tương ứng góc tới và góc khúc xạ.

Vì ánh sáng tự nhiên sau khi phản xạ sẽ trở thành ánh sáng phân cực, nên số hạng thứ nhất bên phải trong dấu ngoặc vuông (2.1.3) là thành phần vuông góc và số hạng thứ hai là thành phần song song của tia phân cực. Vì vậy, có thể coi hệ số phản xạ của ánh sáng tự nhiên là trung bình cộng của hệ số phản xạ của hai thành phần phân cực này.

Quan hệ giữa chiết suất môi trường 1 và 2 tương ứng là n_1, n_2 , với các góc tới và góc khúc xạ θ_1, θ_2 được liên hệ với nhau bởi biểu thức Snell sau đây

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \quad (2.1.4)$$

Như vậy, khi biết góc tới θ_1 và chiết suất n_1, n_2 thì từ hai phương trình trên ta có thể tính được hệ số phản xạ trên mặt phân cách giữa hai môi trường này. Trong trường hợp đặc biệt khi tia tới trùng với phương pháp tuyến của mặt phản xạ thì θ_1, θ_2 xấp xỉ bằng không, và phương trình (2.1.3) và (2.1.4) một cách gần đúng có thể viết là

$$\rho = \frac{I_r}{I_0} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (2.1.5)$$

Nếu môi trường một là không khí $n = 1$ thì phương trình (2.1.5) có dạng

$$\rho = \frac{I_r}{I_0} = \left(\frac{n_1 - 1}{n_1 + 1} \right)^2 \quad (2.1.6)$$

Ví dụ 2.1.1. Tính hệ số phản xạ trên mặt kính khi góc tới bằng 0° và bằng 60° . Chiết suất của thủy tinh, $n = 1,526$.

Giải: Khi góc tới bằng 0° từ (2.1.3) ta có

$$\rho(0) = \left[\frac{1,526 - 1,0}{1,526 + 1,0} \right]^2 = \left[\frac{0,526}{1,526} \right]^2 = 0,04$$

Ứng với góc tới bằng 60° từ (2.1.4) tính được góc khúc xạ θ_2

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{\sin 60}{1,526}\right) = 34,47^\circ$$

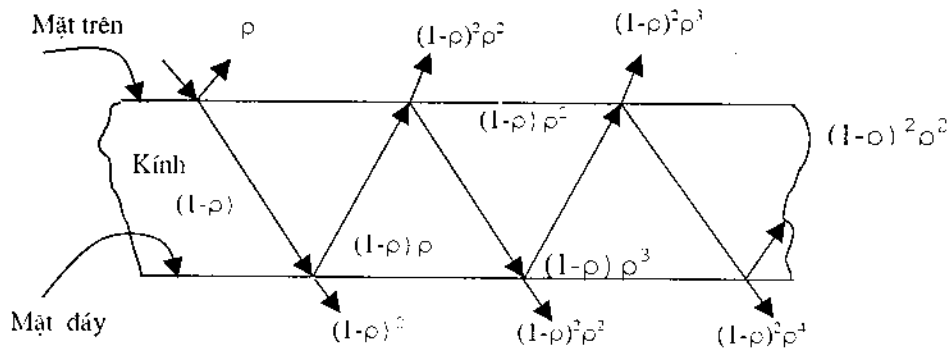
Từ phương trình (2.1.3) tính được hệ số phản xạ ứng với góc tới 60°

$$\rho(60) = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(34,47 - 60)}{\sin^2(34,47 + 60)} + \frac{\tan^2(34,47 - 60)}{\tan^2(34,47 + 60)} \right] = \frac{1}{2} (0,1856 + 0,001) = 0,093$$

Kết quả trên cho thấy hệ số phản xạ thành phần lưỡng cực vuông góc bằng 0,1856, và thành phần lưỡng cực song song bằng 0,001. Giá trị trung bình hệ số phản xạ của ánh sáng tự nhiên bằng 0,093

2. Hệ số truyền qua

Trong các thiết bị thu bức xạ Mặt Trời thường được phủ bằng các loại vật liệu dạng tấm mỏng hoặc màng mỏng trong suốt. Cả hai loại đều có hai mặt phân cách (mặt trên và mặt dưới) với môi trường không khí, nên khi tính hệ số truyền qua cần phải loại bỏ phần bức xạ đã bị phản xạ trên cả hai mặt này (hình 2.1.3). Vì cả hai đều có hiện tượng phản xạ và làm tổn hao năng lượng.



Hình 2.1.3. Mô tả hiện tượng phản xạ từ mặt trên và mặt dưới của tấm kính.

Giả sử cường độ ban đầu của một tia bất kỳ là bằng đơn vị, ta thấy sau khi phản xạ từ mặt trên bị phản xạ một lượng là ρ , nên khi qua khỏi mặt phân cách hai môi trường (mặt trên) cường độ chỉ còn $(1-\rho)$ và đến mặt đáy cũng bị phản xạ từ mặt dưới một lượng $(1-\rho)\rho$, và phần năng lượng qua được mặt đáy chỉ còn $(1-\rho)^2$. Phần còn lại sẽ phản xạ từ mặt đáy một lượng là $(1-\rho)\rho$ rồi đến đập vào đáy của mặt trên và thoát ra môi trường $(1-\rho)^2\rho^2$, phần còn lại phản xạ trở về mặt dưới là $(1-\rho)^3\rho^3$ v.v... cứ tiếp tục cho đến khi năng lượng chùm tia hoàn toàn bằng không thì kết thúc. Tổng cộng tất cả

các số hạng sau n lần phản xạ trên hai mặt phân cách này ta sẽ nhận được biểu thức có dạng cấp số cộng như sau:

- Nếu hệ chỉ có một lớp kính phủ thì hệ số truyền qua khi chưa kể đến hiện tượng hấp thụ của kính phủ là

$$\tau_{r,1} = (1 - \rho)^2 \sum_{n=1}^{\infty} \rho^{2n} = \frac{(1 - \rho)^2}{(1 + \rho)^2} = \frac{1 - \rho}{1 + \rho} \quad (2.1.7)$$

- Nếu hệ có N lớp kính phủ cùng loại vật liệu và với cách làm tương tự ta rút ra được

$$\tau_{r,N} = \frac{(1 - \rho)}{1 + (2N - 1)\rho} \quad (2.1.8)$$

Biểu thức này chứa cả hai thành phần phân cực, nên khi tính toán hệ số truyền qua đối với ánh sáng tự nhiên cũng phải lấy giá trị trung bình của cả hai thành phần.

Ví dụ 2.1.2. Tính hệ số truyền qua của hệ hai tấm kính phủ ứng với các góc tới bằng 0° và bằng 60° .

Giải.

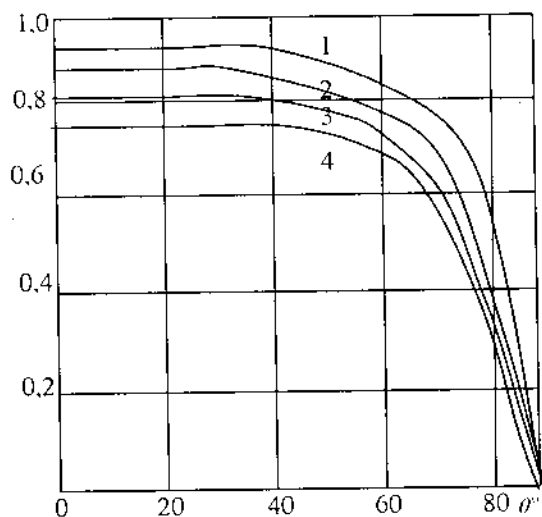
- Với góc tới bằng 0° của hệ $N=2$ tấm kính, ta dùng công thức (2.1.3) tính được $\rho = 0,0434$. Theo phương trình (2.1.8) ta tính được hệ số truyền qua khi góc tới bằng 0° là

$$\tau_r(0) = \frac{1 - 0,0434}{1 + 3(0,0434)} = 0,85$$

- Với góc tới bằng 60° hệ số phản xạ ρ đối với mỗi thành phần phân cực như đã tính ở bài tập (2.1.1) là $\rho_\perp = 0,185$ và $\rho_\parallel = 0,001$. Theo phương trình (2.1.8) tính trung bình cho cả hai loại phân cực, thì nhận được hệ số truyền qua

$$\tau_r(60) = \frac{1}{2} \left[\frac{1 - 0,185}{1 + 3(0,185)} + \frac{1 - 0,001}{1 + 3(0,001)} \right] = 0,76$$

Đối với kính có chiết suất trung bình $n = 1,526$ thì công thức (2.1.8) có thể dùng để tính hệ số truyền qua cho toàn bộ



Hình 2.1.4. Khả năng truyền qua phụ thuộc số tấm kính và góc tới θ .

phổ bức xạ Mặt Trời.

Trong trường hợp hệ có nhiều tấm phủ và góc tới thay đổi từ 0° đến 90° Hottel và Woertz đã cho kết quả của hệ số truyền qua như được mô tả bằng các đường cong phụ thuộc góc tới, với 4 tấm phủ như đã cho trên hình 2.1.4

3. Hệ số truyền qua có kể đến hấp thụ khi xuyên qua môi trường

Khi bức xạ truyền qua môi trường không hoàn toàn trong suốt sẽ bị vật hấp thụ một phần năng lượng. Khả năng hấp thụ bức xạ của một vật không hoàn toàn trong suốt được mô tả bằng định luật Bouguer. Định luật này dựa trên giả thiết là sự hấp thụ bức xạ tỷ lệ với cường độ định xứ I_0 của môi trường và quãng đường dx mà bức xạ đi qua. Cường độ bức xạ nhận được tại một điểm bất kỳ sau khi đi qua một đoạn đường dx trong môi trường được xác định bằng biểu thức

$$dI = -I_0 k dx \quad (2.1.9)$$

trong đó, k là hệ số suy giảm của môi trường và được coi là hằng số đối với phổ bức xạ Mặt Trời. Sau khi lấy tích phân cả hai vế của phương trình (2.1.9) cho cả chiều dày l của tấm ta nhận được

$$\tau_\alpha = \frac{I_l}{I_0} = e^{-kl} \quad (2.1.10)$$

Giá trị của k phụ thuộc vào tính chất của vật liệu (đơn vị tính: cm^{-1}). Ví dụ, kính có màu "xanh" (chứa hàm lượng Fe_2O_3 cao) $k=0,4/\text{cm}$; Với kính trong $k=0,32/\text{cm}$... Như vậy khi bức xạ truyền qua môi trường không hoàn toàn trong suốt thì năng lượng bị tổn hao không những do hiện tượng phản xạ mà còn do tính chất hấp thụ của môi trường, do đó hệ số truyền qua tấm có chiều dày l sẽ là tích số của hai biểu thức (2.1.8) và (2.1.10)

$$\tau = \tau_r \tau_\alpha \quad (2.1.11)$$

Hệ thức này chỉ thỏa mãn khi tích kl khá nhỏ, sao cho τ_α không khác quá xa đơn vị. Điều kiện này thường gặp trong các bộ thu bức xạ Mặt Trời.

Ví dụ 2.1.3. Tính hệ số truyền qua hai tấm kính có cùng chiều dày $0,23\text{cm}$ của chùm tia bức xạ ứng với các góc tới 0° và 60° . Biết hệ số suy giảm $k=0,161/\text{cm}$.

Giải.

+ Độ suy giảm sau khi đi qua một tấm kính khi góc tới bằng 0° :

$$kl = 0,23 \times 0,161 = 0,037$$

+ Hệ số truyền qua đã bị suy giảm sau khi qua hai tấm kính là :

$$\tau_{\alpha}(0) = e^{-2 \times 0,037} = 0,93$$

+ Hệ số truyền qua có phản xạ trong ví dụ 2.1.2 $\tau_r(0) = 0,85$.

+ Theo hệ thức (2.1.11) thì hệ số truyền qua toàn phần:

- ứng với góc tới $\theta = 0^\circ$ là

$$\tau(0) = \tau_r(0)\tau_{\alpha}(0) = 0,85 \times 0,93 = 0,79$$

- ứng với góc tới $\theta = 60^\circ$, và kết quả từ ví dụ (2.1.1) cho góc khúc xạ $\theta_2 = 34,57^\circ$

$$\tau_{\alpha}(0) = e^{-2(0,037)/\cos(34,57)} = 0,943$$

Và góc truyền qua toàn phần (với $\tau_r = 0,76$ từ ví dụ 2.1.1) ta có

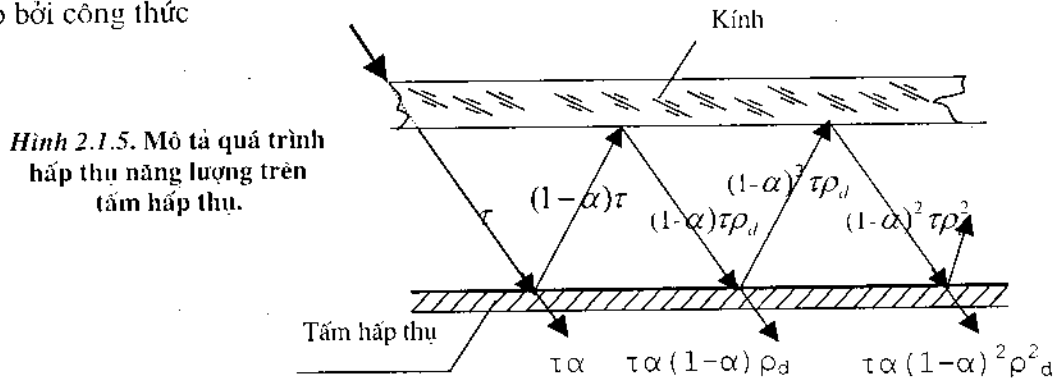
$$\tau(0) = \tau_r(60)\tau_{\alpha}(60) = 0,76 \times 0,94 = 0,717$$

4. Hệ số hấp thụ tích hợp trên tấm hấp thụ

Khi phân tích một cách chi tiết quá trình hấp thụ của tấm hấp thụ trong một bộ thu bức xạ ta thấy rằng bức xạ Mặt Trời mà bộ thu hấp thụ nhận được chỉ là một phần năng lượng sau khi bức xạ đã xuyên qua hệ thống N tấm kính phủ, và được gọi là hệ số truyền qua τ biểu thức (2.1.11).

Dưới đây ta sẽ khảo sát chi tiết quá trình xảy ra trong khoảng không gian giữa tấm hấp thụ và tấm kính phủ dưới cùng (hình 2.1.5).

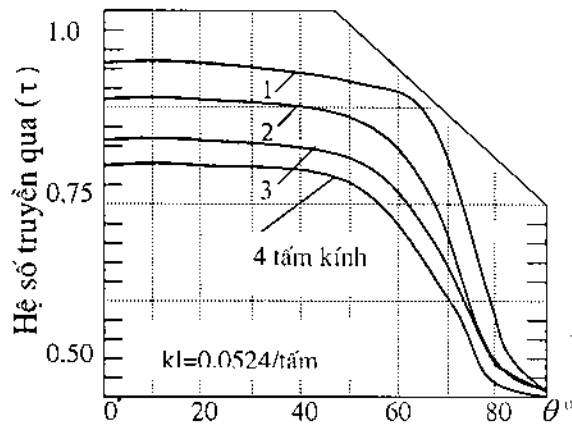
Giả sử khi một tia bức xạ sau khi xuyên qua hệ thống tấm phủ có hệ số truyền qua là $\tau = \tau_{\alpha}\tau_r$, và đập lên mặt tấm hấp thụ có hệ số hấp thụ α , sẽ bị tấm hấp thụ hấp thụ một lượng xác định là $\tau\alpha$. Do tấm hấp thụ không phải là vật đen tuyệt đối nên phần còn lại $(1-\alpha)\tau$ sẽ phản xạ ngược về phía đáy của tấm kính đáy dưới cùng, rồi lại bị phản xạ trở về tấm hấp thụ một lượng $(1-\alpha)\tau\rho_d$. Một lần nữa bị tấm hấp thụ nhận một phần năng lượng $\tau\alpha(1-\alpha)\rho_d$, phần còn lại $(1-\alpha)^2\tau\rho_d$ sẽ phản xạ ngược lên phía trên, và cứ tiếp tục cho đến khi kết thúc hoàn toàn. Tổng tất cả n lần hấp thụ trên tấm hấp thụ được cho bởi công thức



$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1 - (1-\alpha)\rho_d} \quad (2.1.12)$$

trong đó, $(\tau\alpha)$ được gọi là *hệ số hấp thụ tích hợp* (hay *hấp thụ truyền qua*), và ρ_d là hệ số phản xạ từ mặt đáy của tấm đáy dưới cùng.

Để đơn giản trong việc tính toán đôi khi người ta dùng các đường cong cho trước để tìm ngay được hệ số truyền qua của hệ nhiều tấm kính. Ví dụ trên hình (2.1.6) cho các đường cong phụ thuộc góc tới của các bộ thu có nhiều tấm kính đáy ($N=1,2,3,4$), mỗi tấm có độ suy giảm $kl = 0,0524$



Hình 2.1.6. Hệ số truyền qua phụ thuộc góc tới.

Ví dụ 2.1.4. Tính hệ số hấp thụ tích hợp $(\tau\alpha)$ cho một bộ thu với ba lớp kính phủ, độ suy giảm của mỗi tấm $kl = 0,0524$, hệ số hấp thụ của tấm hấp thụ $\alpha = 0,94$ (không khu thuộc phương) và góc tới của chùm tia bức xạ $\theta = 55^\circ$.

Giải. Từ đường cong số 3 (hình 2.1.6) ứng với góc 55° ta xác định được $\tau = 0,57$, từ (hình 2.1.4) ứng với 55° ta tìm được hệ số phản xạ $\rho_d = (1,0 - 0,75) = 0,25$. Thay các giá trị này vào phương trình (2.2.12) ta có:

$$(\tau\alpha) = \frac{0,94 \times 0,57}{1 - (1 - 0,94) \times 0,25} = 0,5439 \approx 0,544$$

2.1.3. Chất hấp thụ

Chất hấp thụ trong kỹ thuật nhiệt sử dụng năng lượng Mặt Trời yêu cầu phải có hệ số hấp thụ α cao và hệ số phát xạ ε hay độ đen bé. Các chất hấp thụ lựa chọn có cả hai tính chất trên, nhưng công nghệ chế tạo chúng phức tạp dẫn đến giá thành cao.

1- Chất hấp thụ thường: là chất hấp thụ khi ở cùng một nhiệt độ thì hệ số hấp thụ và hệ số phát xạ gần bằng nhau. Thí dụ, bột hóng trộn epôxy có $\varepsilon = 0,89$ và $\alpha = 0,96$,

sơn đen $\varepsilon = 0,98$ và $\alpha = 0,98$ v.v...

Trong kỹ thuật Mặt Trời chất hấp thụ thường dùng là sơn đen trộn thêm một số oxit kim loại hay bột kim loại để tăng độ nhám của bề mặt tấm hấp thụ, vừa có hệ số dẫn nhiệt tốt vừa tăng hệ số hấp thụ. Nhược điểm của sơn đen là độ dính bám không cao dễ bị bong, hay bị rạn nứt do dẫn nở nhiệt. Tuy vậy chất hấp thụ này vẫn được dùng rộng rãi trong các bộ thu phẳng để thu bức xạ Mặt Trời vì có giá thành rẻ.

2- *Chất hấp thụ lý tưởng và chất hấp thụ lựa chọn.* Chất hấp thụ lý tưởng là chất hấp thụ có thể hấp thụ toàn bộ năng lượng trong dải bước sóng của bức xạ Mặt Trời $0,29 < \lambda < 3 \mu m$ và phát xạ yếu đối với bước sóng $\lambda > 3 \mu m$ trong khoảng nhiệt độ từ $50^\circ C$ - $150^\circ C$, là nhiệt độ thường đạt được trong các bộ thu phẳng.

Chất hấp thụ lựa chọn có các đặc tính gần với chất hấp thụ lý tưởng, nghĩa là có hệ số hấp thụ cao và hệ số phát xạ bé đối với phổ bức xạ Mặt Trời xác định, đặc biệt vẫn có hệ số phát xạ bé trong giải bước sóng hồng ngoại $\lambda > 3 \mu m$. Sử dụng chất hấp thụ lựa chọn có thể nâng cao hiệu suất bộ thu phẳng lên từ 10 - 15% so với chất hấp thụ thường. Bảng 2.1.1 cho biết một số chất hấp thụ lựa chọn, công nghệ chế tạo, hệ số hấp thụ α và hệ số phát xạ ε

Bảng 2.1.1. Chất hấp thụ lựa chọn và cách chế tạo

Chất hấp thụ lựa chọn và cách chế tạo	α	ε
- “Nicken đen” chế tạo bằng cách phủ các lớp oxit và sunfit Ni và Zn trên giá nickel đánh bóng.	0,91-0,94	0,11
- “Nickel đen” với các lớp oxit và sunfit Ni và Zn phủ trên giá tôn tráng kẽm.	0,39	0,12
- CuO trên giá nickel	0,81	0,17
- CuO trên Al: chế tạo bằng cách phun dung dịch loãng $Cu(NO_3)_2$ lên tấm nhôm nóng và tiếp tục nung nóng đến khi khô.	0,93	0,11
- “Đồng đen” trên giá đồng: bằng cách phủ dung dịch NaOH và $NaClO_2$ lên giá đồng và sấy khô.	0,9	0,17
- CuO trên giá đồng anot hoá: bằng cách phun $Cu(NO_3)_2$ - $KMnO_4$ lên giá đồng và sấy khô.	0,85	0,11
- Al_2O_3 - Mo - Al_2O_3 - Mo - Al_2O_3 - Mo - Al_2O_3	0,91	0,085
- Tinh thể PbS trên giá nhôm	0,89	0,20

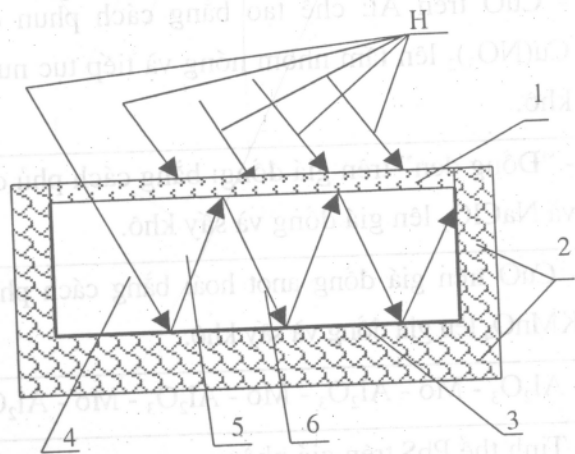
Ngoài ra các hệ số này còn phụ thuộc vào tính chọn lọc tùy thuộc vào bước sóng của chùm bức xạ tới, và vật liệu được sử dụng để làm tấm đáy hoặc chất phủ trên mặt tấm hấp thụ để tăng khả năng truyền qua hoặc hấp thụ bức xạ Mặt Trời. Ví dụ một chất nào đó có thể hấp thụ tốt đối với bước sóng này nhưng lại không hấp thụ đối với bước sóng khác. Cũng vậy đối với vật liệu làm tấm đáy có thể cho qua tốt đối với bước sóng này nhưng lại ngăn cản đối với bước sóng khác. Kính xây dựng cũng là một loại vật liệu có tính chọn lọc tốt đối với bước sóng dài nên thường được dùng làm tấm đáy cho bộ thu phẳng.

§2.2. Hiệu ứng nhà kính

Nguyên lý “Hiệu ứng nhà kính” thường được ứng dụng trong kỹ thuật năng lượng nhiệt Mặt Trời. Nguyên lý hoạt động của hiệu ứng nhà kính được mô tả như sau: *phần lớn bức xạ Mặt Trời có bước sóng $\lambda < 0,7\mu\text{m}$ có khả năng truyền qua được lớp kính phủ trong suốt, còn bức xạ có bước sóng $> 0,7\mu\text{m}$ đều bị kính ngăn lại.* Tùy theo tính chất vật liệu và bề dày của lớp phủ trong suốt mà bức xạ Mặt Trời truyền qua được nhiều hay ít. Ta khảo sát một buồng kín hình hộp như mô tả trên hình 2.2.1. Mặt trên được đáy bằng tấm kính (1), thành chung quanh và đáy làm bằng vật liệu cách nhiệt tốt (2), mặt trên của đáy được phủ một tấm kim loại sơn đen, dẫn nhiệt tốt, được gọi là tấm hấp thụ (3). Tia bức xạ Mặt Trời (H) sau khi xuyên qua tấm kính phủ đập lên bề mặt tấm hấp thụ, tấm này hấp thụ năng lượng bức xạ Mặt Trời và chuyển hoá thành nhiệt nung nóng tấm hấp thụ, khi đó nó trở thành nguồn nhiệt phát ra các tia bức xạ nhiệt thứ cấp (có bước sóng $\lambda > 0,7\mu\text{m}$) hướng về mọi phía. Nhờ nhận liên tục các bức xạ Mặt Trời nên nó được nung nóng liên tục, và bức xạ nhiệt cũng phát ra liên tục. Những bức xạ nhiệt hướng lên phía trên bị kính ngăn lại (vì kính chỉ cho qua bức xạ có bước sóng ngắn $\lambda < 0,7\mu\text{m}$). Các tia bức xạ nhiệt bị phản xạ trở về tấm hấp thụ và bị hấp thụ nên làm cho nó ngày càng nóng hơn. Các mặt đáy và các thành bên được cách nhiệt tốt nên giảm được lượng nhiệt bị truyền dẫn ra ngoài hộp, do đó năng lượng nhiệt được tạo ra từ

Hình 2.2.1_Sơ đồ cấu tạo hộp bẫy nhiệt -"hiệu ứng nhà kính":

- H- bức xạ Mặt Trời;
- 1- tấm kính đáy;
- 2- lớp cách nhiệt;
- 3- tấm hấp thụ;
- 4- tia vào có bước sóng ngắn;
- 5- tia nhiệt có bước sóng dài phát xạ từ tấm hấp thụ;
- 6- tia nhiệt bị phản xạ ngược về tấm hấp thụ.



bức xạ Mặt Trời hầu như bị "giam" trong hộp, giống như một cái bẫy nhiệt - (bức xạ Mặt Trời vào được nhưng bức xạ nhiệt không thể ra được). Đó là nguyên lý "hiệu ứng nhà kính". Nhiệt độ của tấm càng cao, phát xạ nhiệt từ mặt hấp thụ càng lớn. Trong khi đó năng lượng bên trong hộp trao đổi với môi trường chung quanh qua các quá trình truyền nhiệt do: dẫn nhiệt, bức xạ và đối lưu cũng tăng lên (vấn đề này sẽ được đề cập ở chương sau). Khi hộp liên tục nhận bức xạ Mặt Trời thì nhiệt độ bên trong hộp ngày càng cao đồng thời nhiệt mất cho môi trường chung quanh càng nhiều. Cho tới khi năng lượng mà tấm hấp thụ nhận được từ bức xạ Mặt Trời cân bằng với năng lượng mất mát ra môi trường chung quanh thì trạng thái cân bằng năng lượng trong hộp được thiết lập. Khi đó nhiệt độ bên trong hộp và tấm hấp thụ có thể đạt đến từ 130°C đến 150°C , Theo lý thuyết thì nhiệt độ có thể đạt đến 180°C . Trong các chương sau chúng ta sẽ đề cập đến một vài ứng dụng hiệu ứng nhà kính để thiết kế chế tạo các bộ thu phẳng trong các thiết bị sấy và đun nước nóng bằng năng lượng Mặt Trời.

Câu hỏi ôn tập và bài tập chương 2

Câu hỏi

1. Định nghĩa các hệ số phản xạ, truyền qua và hấp thụ. Vật như thế nào được gọi là vật mờ.
2. Vẽ hình mô tả quá trình phản xạ của một tia bức xạ khi chiếu lên một tấm kính có hệ số phản xạ ρ , và viết các giá trị còn lại của cường độ tia bức xạ sau mỗi lần phản xạ từ mặt trên và mặt đáy của tấm kính, từ đó thiết lập biểu thức (2.1.7). Coi cường độ bức xạ tới ban đầu bằng đơn vị.
3. Vẽ hình mô tả quá trình hấp thụ của một bề mặt có hệ số hấp thụ α , đặt dưới tấm kính có hệ số phản xạ ρ_d , ghi các giá trị còn lại của tia bức xạ sau mỗi lần hấp thụ và phản xạ, từ đó thiết lập biểu thức (2.1.12). Cho biết cường độ của tia bức xạ ban đầu sau khi xuyên qua tấm kính là τ .
4. Vẽ sơ đồ mô tả nguyên lý hoạt động của hiệu ứng nhà kính và nêu những ứng dụng của hiệu ứng này trong thực tế.

Bài tập

1. Tính hệ số phản xạ của bề mặt một tấm kính với các góc tới bằng $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$. Biểu diễn đường cong phụ thuộc hệ số phản xạ vào góc tới. Biết chiết suất của kính $n=1,526$.
2. Tính hệ số truyền qua τ của hệ hai tấm kính, chiều dày của mỗi tấm là $0,5\text{cm}$, hệ số suy giảm $k=0,175/\text{cm}$, và hệ số phản xạ $\rho=0,85$, với các góc tới bằng $30^\circ, 45^\circ$ và bằng 60° .
3. Tính hệ số tích hợp hấp thụ truyền qua $(\tau\alpha)$ của hệ gồm kính có hệ số phản xạ $\rho_d = 0,875$ và một mặt hấp thụ có hệ số hấp thụ $\alpha=0,94$. Biết sau khi qua kính thì hệ số truyền qua $\tau=0,860$.
4. Tính hệ số hấp thụ truyền qua $(\tau\alpha)$ khi chiếu một chùm tia góc tới bằng 54° lên một hệ gồm: 2 tấm kính có chiều dày mỗi tấm $0,4\text{cm}$, hệ số suy giảm $k=0,161/\text{cm}$, hệ số phản xạ $\rho_d=0,85$, chiết suất của kính $n=1,526$ và một tấm phẳng có hệ số hấp thụ $\alpha=0,95$.

Chương 3

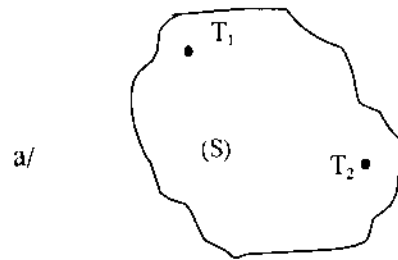
SỰ TRUYỀN VÀ TRAO ĐỔI NHIỆT GIỮA CÁC VẬT

§3.1. Phân loại các dạng truyền nhiệt

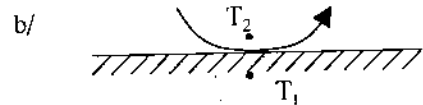
Sự truyền nhiệt có thể xảy ra trong môi trường vật chất hoặc trong chân không dưới dạng sóng điện từ. Trong chương này chúng ta sẽ nghiên cứu các quá trình truyền và trao đổi nhiệt trong các môi trường này.

3.1.1. Sự truyền nhiệt trong môi trường vật chất

1- *Truyền nhiệt bằng dẫn nhiệt.* Ta xét một vật rắn (S) cách nhiệt với môi trường chung quanh (hình 3.1.1a). Giả sử lúc đầu nhiệt độ tại mỗi điểm khác nhau là khác nhau. Ví dụ, tại hai điểm bất kỳ có nhiệt độ T_1 và T_2 với $T_1 > T_2$. Nhưng sau đó ta nhận thấy vùng có nhiệt độ cao giảm xuống, và vùng có nhiệt độ thấp tăng lên, cho đến khi nhiệt độ tại mọi điểm trong vật thể đồng đều $T_1 = T_2$. Người ta gọi hiện tượng này là *Sự truyền nhiệt trong môi trường rắn do hiện tượng dẫn nhiệt*. Nhiệt từ vùng nóng có nhiệt độ cao truyền đến vùng lạnh có nhiệt độ thấp.



2- *Truyền nhiệt do đối lưu.* Giả sử một bức tường có nhiệt độ trung bình T_1 và chất lỏng (hoặc khí) tiếp xúc với tường có nhiệt độ T_2 , Giả sử $T_1 > T_2$ (hình 3.1.1b). Sau một thời gian người ta thấy rằng nếu giữ nhiệt độ của bức tường không đổi, thì nhiệt độ của môi trường chất lỏng tăng dần. Đầu tiên nhiệt độ phần chất lỏng tiếp xúc với tường tăng, tiếp theo nhiệt độ của các lớp chất lỏng ở xa bức tường cũng tăng dần lên. Nếu lượng chất lỏng không thay đổi thì sau một thời gian nhiệt độ của tường và cả khối chất lỏng sẽ bằng nhau. Sự truyền nhiệt trong môi trường chất lỏng trong trường hợp này được định nghĩa là *sự truyền nhiệt do hiện tượng đối lưu*. Hiện tượng truyền nhiệt giữa bức tường và khối chất lỏng được gọi là *sự trao đổi nhiệt*.



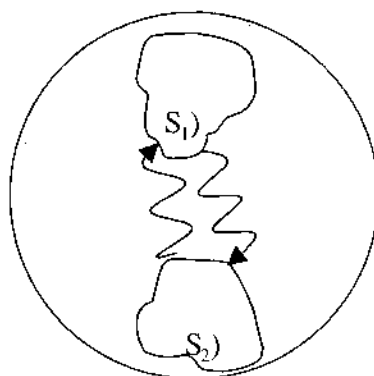
Hình 3.1.1. Môi trường dẫn nhiệt:
a- bằng dẫn nhiệt; b- bằng đối lưu.

hay *sự toả nhiệt* từ bề mặt. Quá trình truyền nhiệt trong khối chất lỏng xảy ra một cách tự nhiên dưới tác động của chuyển động nhiệt phân tử, được gọi là quá trình *đối lưu tự nhiên*. Trong trường hợp có sự tác động của ngoại lực như bơm hay quạt hút, thối thì được gọi là *đối lưu cưỡng bức*.

Đối lưu tự nhiên là do chuyển động nhiệt hỗn loạn của các phân tử của chất lỏng (hoặc khí) giữa các vùng có nhiệt độ khác nhau (vùng ở sát tường có nhiệt độ cao) sẽ khuếch tán vào nhau (vùng ở xa tường có nhiệt độ thấp), làm cho nhiệt độ mọi chỗ trong khối chất lỏng trở nên đồng đều hơn và có nhiệt độ như nhau. Nếu trong cùng một loại chất lỏng mà lớp dưới có nhiệt độ cao hơn nhiệt độ của các lớp trên thì do khối lượng riêng của khối nước nóng nhỏ hơn khối lượng riêng của khối nước lạnh, nên khối nước nóng sẽ "tự nổi" lên trên còn khối nước lạnh "bị chìm" xuống phía dưới. Do đó trong lòng khối chất lỏng hình thành dòng chảy tuần hoàn dưới tác dụng của độ chênh trọng lực giữa các khối nước.

3.1.2. Sự truyền nhiệt trong chân không - trao đổi nhiệt do bức xạ

Nếu ta đặt hai vật S_1 có nhiệt độ T_1 và S_2 có nhiệt độ T_2 vào trong một bình chân không được cách nhiệt tốt đối với môi trường xung quanh. Giả sử nhiệt độ ban đầu của hai vật tương ứng $T_1 > T_2$, (hình 3.1.2). Ta cũng thấy nhiệt độ T_1 của vật S_1 giảm dần, còn nhiệt độ T_2 của vật S_2 thì tăng dần, cho đến khi cả hai vật cân bằng ở nhiệt độ T , tức là $T_1 > T > T_2$. Ở đây ta thấy sự trao đổi năng lượng dưới dạng nhiệt giữa các vật vẫn xảy ra được trong chân không. Quá trình trao đổi nhiệt này không thông qua vật dẫn nhiệt, nghĩa là không cần môi trường vật chất, mà là thông qua bức xạ điện từ, nên được gọi là *truyền nhiệt* (hay *trao đổi nhiệt giữa hai vật do bức xạ*).



Hình 3.1.2. Trao đổi nhiệt trong chân không.

§3.2. Các định luật cơ bản trong các quá trình truyền nhiệt

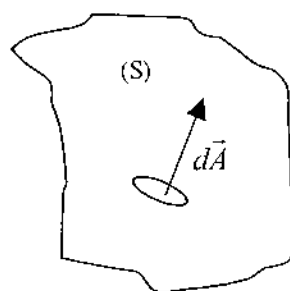
3.2.1 Sự truyền nhiệt do dẫn nhiệt

1. *Trường hợp tổng quát.* Giả sử có một vật (S) bất kỳ không đồng nhất về nhiệt độ. Trên bề mặt của S ta tách ra một diện tích nguyên tố $d\vec{A}$ hình (3.2.1). Nếu có lượng nhiệt dQ truyền qua diện tích $d\vec{A}$ trong thời gian dt .

Theo định luật Fourier ta xác định được

$$dQ = - \text{grad} T \cdot d\vec{A} \cdot dt \quad (3.2.1)$$

Ở đây, $-\lambda$ là hệ số dẫn nhiệt của vật (S), được đo bằng đơn vị ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), λ phụ thuộc vào bản chất của vật, giá trị λ tăng khi nhiệt độ tăng, dấu trừ chỉ rõ nhiệt độ truyền từ vùng có nhiệt độ cao đến vùng có nhiệt độ thấp; $\text{grad}T$ là gradian nhiệt độ theo phương truyền nhiệt, nó là một đại lượng vectơ. Trong quá trình truyền nhiệt thường có liên quan đến khái niệm *thông lượng nhiệt*.



Hình 3.2.1. Hiện tượng truyền nhiệt do dẫn nhiệt.

Tích số $\lambda \times \text{grad}T$ được gọi là *mật độ thông lượng*. Đó là nhiệt lượng truyền qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền nhiệt, và được viết dưới biểu thức

$$\Phi = -\lambda \cdot \text{grad}T \quad (3.2.2)$$

2- Định nghĩa về phương trình truyền nhiệt và độ dẫn nhiệt. Từ lý thuyết truyền nhiệt người ta đưa ra các phương trình truyền nhiệt dưới dạng vi phân sau đây

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{C\rho} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (3.2.3)$$

Đặt $\frac{\lambda}{C\rho} = a$ và được gọi là *hệ số dẫn nhiệt độ*, (m^2/s).

trong đó, λ – là hệ số dẫn nhiệt, ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$);

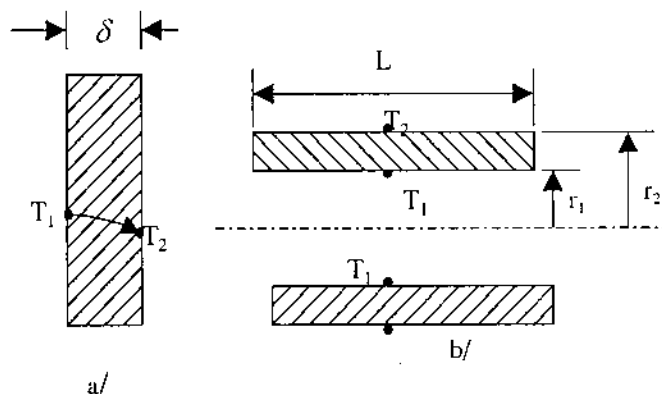
C – nhiệt dung đẳng áp của vật, ($\text{kJ.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$);

ρ – khối lượng riêng của vật, (kg/m^3).

Nếu quá trình xảy ra trong trạng thái dừng (nhiệt độ của các nguồn không thay đổi theo thời gian), ta có $\frac{dT}{dt} = 0$. Từ đó có thể suy ra được các công thức ngắn gọn dùng để tính nhiệt lượng q trong một số trường hợp cụ thể sau đây (hình 3.2.2)

Hình 3.2.2. Các phương pháp truyền nhiệt:

a- dẫn nhiệt qua một bức tường; b- dẫn nhiệt qua thành hình trụ rỗng.



a- Đối với một bức tường phẳng (hình 3.2.2a), chiều dày δ , nhiệt độ trên hai bề mặt tường T_1 và T_2 ($T_1 > T_2$), hệ số dẫn nhiệt λ , thì năng lượng truyền qua tường trên một diện tích A , trong thời gian t là

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_2) At \quad (3.2.4)$$

b- Đối với hình trụ bán kính r_1 và r_2 tương ứng (hình 3.2.2b), nhiệt độ của thành trong và thành ngoài hình trụ phân bố tuyến tính thì biểu thức (3.2.4) có dạng

$$q = \frac{2\pi\lambda(T_1 - T_2)At}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (3.2.5)$$

3.2.2. Sự truyền nhiệt do đối lưu

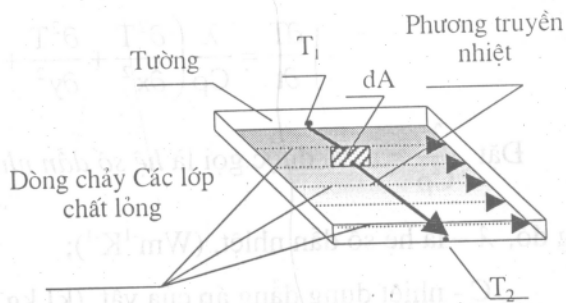
1- Trường hợp tổng quát. Giả sử cho một chất lỏng có nhiệt độ T_2 chuyển động dọc giữa hai bức tường có nhiệt độ T_1 và T_2 , với $T_1 > T_2$ (hình 3.2.3). Ta nhận thấy nhiệt độ của các lớp chất lỏng bị thay đổi. Lớp chất lỏng sát bề mặt tường có nhiệt độ cao hơn các lớp liên kế bên ngoài nó. Lớp ở càng xa nhiệt độ càng giảm, tạo ra một gradient nhiệt độ theo phương vuông góc với dòng chảy. Do đó xảy ra quá trình truyền nhiệt qua miền biên giới giữa thành và chất lỏng. Theo định luật Newton ta có thể xác định được nhiệt lượng dQ truyền qua diện tích dA trong thời gian dt bằng biểu thức sau:

$$dQ = h_c(T_1 - T_2) dA dt \quad (3.2.6)$$

Giả sử trong toàn diện tích A của một lớp chất lỏng song song với tường có nhiệt độ như nhau, sau khi lấy tích phân về phải phương trình (3.2.6) theo dT và dt ta được

$$Q = Ah_c(T_1 - T_2)t \quad (3.2.7)$$

Trong đó, h_c là hệ số trao đổi nhiệt đối lưu hay còn gọi là *hệ số đối lưu*, đơn vị ($W.m^{-2}.K^{-1}$), h_c phụ thuộc đáng kể vào bản chất của chất lỏng, đặc biệt là độ nhớt, vào vận tốc chất lỏng, trạng thái dòng chảy (chảy tầng hay chảy rối), vào nhiệt độ của bề mặt thành và nhiệt độ ban đầu của chất lỏng.



Hình 3.2.3. Mô tả hiện tượng truyền nhiệt qua các lớp chất lỏng.

Nếu chất lỏng là dòng không khí (gió tự nhiên) chuyển động với vận tốc V tiếp xúc trực tiếp với thành ngoài thì hệ số trao đổi nhiệt giữa bề mặt thành với không khí được xác định bởi biểu thức thực nghiệm sau

$$h_v = 5,7 + 3,8V \quad (3.2.8)$$

2- Các tiêu chuẩn để xác định hệ số trao đổi nhiệt đối lưu

Như đã nói ở trên, hiện tượng trao đổi nhiệt do đối lưu phụ thuộc rất nhiều vào các yếu tố như: nhiệt độ chất lỏng; trạng thái của dòng chảy (chảy rối hay chảy tầng, phương truyền nhiệt, hướng truyền nhiệt, vận tốc dòng chảy, độ nhớt của chất tải nhiệt, v.v...). Việc xác định hệ số trao đổi nhiệt h_c cho từng trường hợp này rất phức tạp. Từ các kết quả thực nghiệm năm 1954 người ta đã đưa ra các hệ thức liên hệ giữa các yếu tố đã nêu gồm các thông số: về cấu tạo hình học của dòng chảy, cũng như các tính chất của chất tải nhiệt, v.v... và được gọi là các đại lượng không thứ nguyên, hay còn gọi là các tiêu chuẩn đặc trưng cho dòng chảy, như: tiêu chuẩn Nusselt (Nu), tiêu chuẩn Reynolds (Re), và tiêu chuẩn Grashof (Gr) theo các biểu thức dưới đây:

a- Tiêu chuẩn Nusselt (Nu) được định nghĩa bằng biểu thức

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (3.2.9)$$

b- Tiêu chuẩn Grashof (Gr) được định nghĩa bằng biểu thức

$$Gr = \frac{g\chi\Delta TL^3}{\nu^2} \quad (3.2.10)$$

c- Tiêu chuẩn Reynolds được định nghĩa bằng biểu thức

$$Re = \frac{\omega L}{\nu} \quad (3.2.11)$$

trong đó, h - hệ số trao đổi nhiệt đối lưu, ($W.m^{-2}.K^{-1}$);

L - khoảng cách các tấm giữa hai thành chứa dòng chảy, (m);

k - hệ số dẫn nhiệt, ($W.m^{-1}.K^{-1}$);

g - gia tốc trọng trường, (m/s^2);

χ - hệ số giãn nở thể tích vì nhiệt của chất lỏng, (K^{-1});

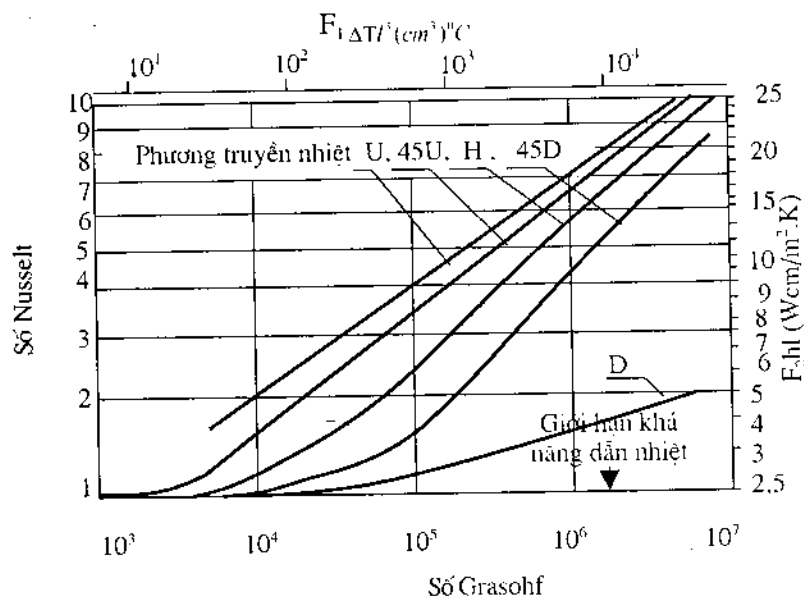
ΔT - chênh lệch nhiệt độ giữa hai tấm, (K);

ν - độ nhớt động học của chất lỏng, ($m^2.s^{-1}$);

ω - vận tốc dòng chảy của chất lỏng, (m/s).

Từ các biểu thức (3.2.9), (3.2.10) và (3.2.11) ta thấy các số Nu, Gr và Re đều là các đại lượng không thứ nguyên. Trong trường hợp trao đổi nhiệt giữa hai tấm phẳng song song có thể coi số Nu tỷ lệ với L/k (gọi là nhiệt trở thuần) và tỷ lệ với l/h (nhiệt trở đối lưu), nên có thể viết lại biểu thức (3.2.9)

$$Nu = \frac{L/k}{l/h} \quad (3.2.9)'$$



Hình 3.2.4. Số Nu phụ thuộc vào số Gr trong trường hợp đối lưu tự nhiên giữa hai tấm phẳng song song.

Ta biết rằng, trong thực tế các bộ thu phẳng thường được đặt trên một mặt phẳng nghiêng β bất kỳ so với mặt phẳng nằm ngang, độ lớn của góc nghiêng β tùy thuộc vào vĩ tuyến nơi đặt bộ thu. Cả lý thuyết và thực nghiệm cho thấy góc nghiêng có ảnh hưởng đáng kể đến quá trình trao đổi nhiệt bằng đối lưu. Trong thực tế đối với chất tải nhiệt là chất khí thì người ta nhận thấy tiêu chuẩn Nu phụ thuộc nhiều vào độ nghiêng của các tấm, phương chiều của thông lượng nhiệt, và vào trạng thái của dòng chảy (chảy tầng hay chảy rối). như được mô tả bằng đồ thị (hình 3.2.4). Ở đây tiêu chuẩn Nu được xem như là một hàm phụ thuộc vào tiêu chuẩn Grashof ứng với năm độ nghiêng khác nhau (tương ứng với các phương truyền thông lượng nhiệt khác nhau). Ngoài ra trên trục tung bên phải (hình 3.2.4) biểu thị giá trị tích số F_2hl ($\text{cm}/\text{m}^2.\text{K}$).

* Các ký hiệu trên hình 3.2.4:

U - thông lượng nhiệt hướng từ dưới lên theo phương thẳng đứng;

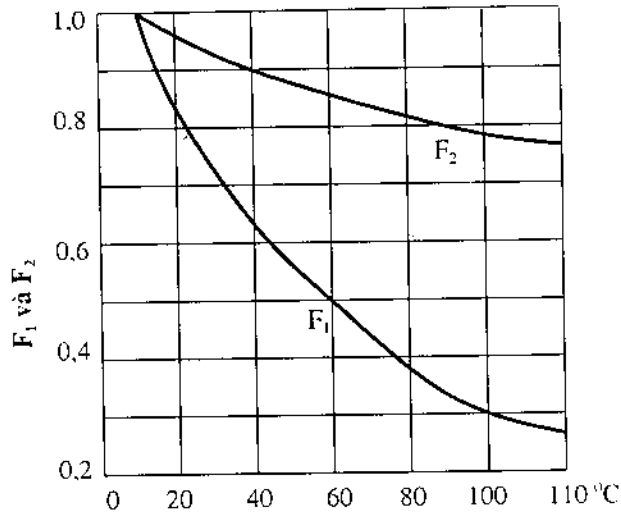
45U - thông lượng nhiệt hướng từ dưới lên theo phương 45°;

H - thông lượng nhiệt hướng theo phương nằm ngang;

45D - thông lượng nhiệt hướng từ trên xuống theo phương 45°;

D - thông lượng nhiệt hướng từ trên xuống theo phương thẳng đứng.

Về ý nghĩa vật lý thì F_2 chính là tỉ số hệ số dẫn nhiệt của khối không khí ở 10°C và ở nhiệt độ khác 10°C. Trên trục hoành (hình 3.2.4) phía trên có ghi giá trị $F_1 \Delta T / l^3$ (cm³)K, ở đây F_1 là tỉ số của χ / ν^2 . Các đồ thị trên được xây dựng trên cơ sở chênh lệch nhiệt độ trung bình giữa hai tấm bằng 10°C, nếu nhiệt độ trung bình khác 10°C thì phải tra từ đường cong F_2 (hình 3.2.5) theo giá trị của nhiệt độ thực. Như vậy, để tìm giá trị của số Nu (3.2.9) ở nhiệt độ bất kỳ khác 10°C ta phải biết tích hl^* ở



Hình 3.2.5. Đường cong F_1, F_2 phụ thuộc nhiệt độ thực tế.

nhiệt độ T. Muốn vậy, ta chia tích số $F_2 hl^*$ cho F_2 ở nhiệt độ này. F_2 sẽ tìm được trên trục tung bên phải của đồ thị hình 3.2.5. Để xác định số Gr (3.2.10) ở nhiệt độ khác 10°C ta phải biết tích $\Delta T / l^3$ (cm³)K. Để tìm $\Delta T / l^3$ ở nhiệt độ khác 10°C ta phải chia $F_1 \Delta T / l^3$ cho F_1 . Ở đây F_1 là tỉ số của χ / ν^2 ở nhiệt độ đang xét và nhiệt độ 10°C. Giá trị F_1 sẽ tìm thấy trên hình 3.2.5 ở nhiệt độ này (xem ví dụ 3.1).

Chú ý! trong các công thức trên đây "L" lấy đơn vị (m) còn ở đây "l" lấy đơn vị (cm).

Ngoài ra để xác định số Nu phụ thuộc vào số Gr Tabor còn đưa ra các công thức thực nghiệm sau đây tương ứng với các trường hợp phương truyền thông lượng nhiệt khác nhau:

* Các mặt phẳng nằm ngang, hướng truyền nhiệt từ dưới lên trên, $10^4 < Gr < 10^7$

$$Nu = 0,152(Gr)^{0,281} \quad (3.2.12)$$

* Các mặt phẳng đặt nghiêng 45°, nhiệt truyền từ dưới lên trên, $10^4 < Gr < 10^7$

$$Nu = 0,093(Gr)^{0,310} \quad (3.2.13)$$

* Các mặt phẳng đặt thẳng đứng, $1,5 \cdot 10^5 < Gr < 10^7$

$$Nu = 0,062(Gr)^{0,327} \quad (3.2.14)$$

* Các mặt phẳng đặt thẳng đứng , $1,5.10^4 < Gr < 1,5.10^5$

$$Nu = 0,33(Gr)^{0,381} \quad (3.2.15)$$

Các công thức (từ 3.2.12 đến 3.2.15) người ta tính cho nhiệt độ chất tải 10^0C . Để thuận tiện cho tính toán từ các phương trình trên suy ra các biểu thức hệ số đối lưu ở 10^0C phụ thuộc nhiệt độ, tương ứng với mỗi trường hợp trên là

$$h_{10} = 1,613 \frac{(\Delta T)^{0,281}}{l^{0,157}} \quad (3.2.12)'$$

$$h_{10} = 1,14 \frac{(\Delta T)^{0,310}}{l^{0,070}} \quad (3.2.13)'$$

$$h_{10} = 0,82 \frac{(\Delta T)^{0,327}}{l^{0,019}} \quad (3.2.14)'$$

$$h_{10} = 0,57 \frac{(\Delta T)^{0,381}}{l^{-0,148}} \quad (3.2.15)'$$

Trong đó, $h(\text{W/m}^2.\text{K})$; $\Delta T(\text{K})$; $l(\text{cm})$.

Khi chất tải nhiệt có nhiệt độ $T \neq 10^0\text{C}$ thì dùng phương trình hiệu chỉnh sau:

$$h_T = h_{10}[1 - 0,0018(\bar{T} - 10)] \quad (3.2.16)$$

ở đây, $\bar{T}$ - nhiệt độ trung bình của hai tấm. $\bar{T} = (T_1 + T_2)/2$

Đối với chất tải nhiệt là chất lỏng chảy theo mọi góc nghiêng β và khi $Gr > 2.10^5$ thì theo Dropkin và Somerscale (1965), tiêu chuẩn Nu được xác định bằng biểu thức:

$$Nu = [0,069 - 0,020(\frac{\beta}{90})]Gr^{1/3}.(Pr)^{0,074} \quad (3.2.17)$$

trong đó, $Pr = \frac{\nu}{a}$ gọi là tiêu chuẩn Prandtl, a - hệ số dẫn nhiệt độ (m^2/K).

Khi áp dụng công thức này cho trường hợp chất tải nhiệt là khí, ta có thể bỏ qua tiêu chuẩn (Pr) vì tiêu chuẩn này phụ thuộc không đáng kể vào nhiệt độ. Khi đó (3.2.17) sẽ là

$$Nu = [0,060 - 0,017(\frac{S}{90})]Gr^{1/3} \quad (3.2.18)$$

Ví dụ 3.1. Tìm hệ số trao đổi nhiệt h_c giữa hai tấm phẳng song song đặt cách nhau 2,5cm, nghiêng một góc 45^0 , nhiệt độ tấm dưới 70^0 , nhiệt độ tấm trên 50^0C ?

Giải. Bằng hai phương pháp:

a/- Tra đồ thị. Với nhiệt độ trung bình của hai tấm $\bar{T} = 60^\circ\text{C}$. Từ đồ thị (hình 3.2.5) ta xác định được $F_1 = 0,49$ và $F_2 = 0,86$ thay các giá trị trên vào biểu thức

$$F_1 \Delta T l^3 = 0,49 (70-50) \times (2,5)^3 = 153 \text{ cm}^3 \cdot \text{độ}$$

và từ đường cong 45D (hình 3.2.4) tìm được giá trị của $F_2 h_c l = 5,3$, từ đó tính được

$$h_c = \frac{F_2 h_c l}{F_2 l} = \frac{5,3}{0,86 \times 2,5} = 2,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{độ}$$

b/- Tính trực tiếp. Từ công thức (3.2.13)' và (3.2.16) ta tính được

$$h_T = 1,14 \left(\frac{20^{0,31}}{2,5^{0,07}} \right) [1 - 0,0018(60-10)] = 2,61 \text{ W/m}^2 \cdot \text{độ}$$

Kết quả nhận được từ hai phương pháp trên có khác nhau một ít, sai số tương đối 8,7% là có thể chấp nhận được. Trong cách tính *a/* cho giá trị bé hơn, nhưng vẫn có thể dùng trong trường hợp không có máy tính, mà phải tính tay.

Trong chế độ chảy rối, không khí bị nung nóng từ tấm dưới thì số Nu được tính từ công thức thực nghiệm sau

$$\text{Nu} = 0,0158(\text{Re})^{0,8} \quad (3.2.19)$$

Trong đó Re - tiêu chuẩn (hay số) Reynolds, được xác định bằng công thức

$$\text{Re} = \frac{\dot{m} D_H}{\mu} = \frac{\rho v D_H}{S_A \mu} \quad (3.2.20)$$

trong đó, $\dot{m}$ - lưu lượng của chất lỏng ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$);

v - vận tốc dòng chảy, ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);

μ - độ nhớt động lực, ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$);

D_H - đường kính thủy động, (m);

ρ - khối lượng riêng của chất lỏng, ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Đối với dòng khí chảy rối hoàn toàn thì số Nu được chọn là

$$\text{Nu} = 0,0022(\text{Re})^{0,8} (\text{Pr})^{0,6} \quad (3.2.21)$$

Đối với chất lỏng số Pr nằm trong khoảng $1,0 < \text{Pr} < 20$ thì

$$\text{Nu} = 0,015(\text{Re})^{0,83} (\text{Pr})^{0,5} \quad (3.2.22)$$

Tuy nhiên trong các thiết bị sử dụng năng lượng Mặt Trời, thường chiều dài của ống không lớn, dòng chảy chưa đạt đến chế độ chảy rối hoàn toàn thì dùng phương trình sau

$$Nu = \frac{Re \cdot Pr \cdot D}{4L} \ln \left[1 - \frac{2,654}{(Pr)^{0,167} (Re \cdot Pr \cdot D / L)^{0,5}} \right]^{-1} \quad (3.2.23)$$

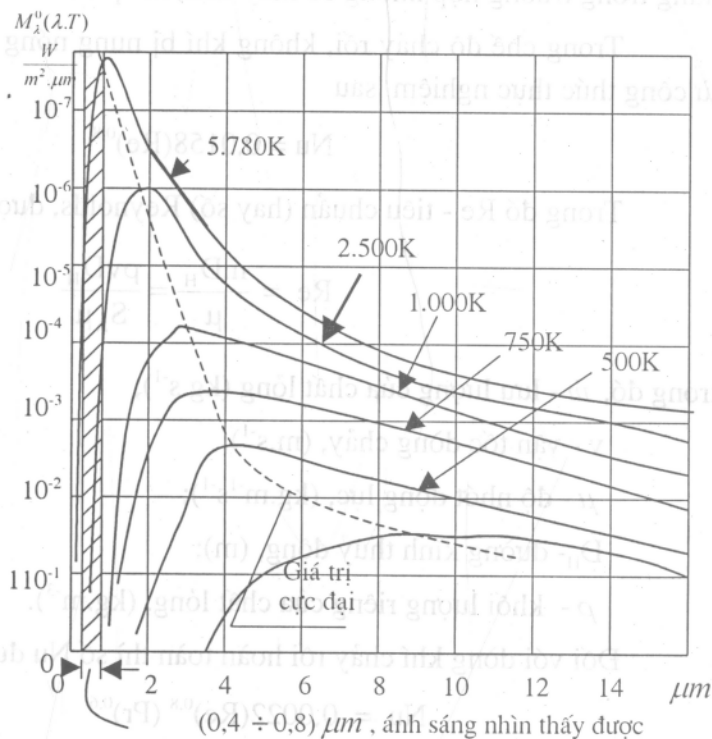
trong đó , D là đường kính ống, (m); L- chiều dài ống, (m).

Công thức này chỉ áp dụng cho loại ống có tỷ lệ $L/D < 0,0048Re$. Nếu là tấm phẳng thì tỷ số L/D_H phải nhỏ hơn $0,0021Re$. Ở đây D_H là đường kính thủy động của kênh dẫn.

Hệ số tổn thất nhiệt ở mặt ngoài tiếp xúc với gió thì hệ số trao đổi nhiệt đối lưu h ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), trong trường hợp này ta có thể áp dụng hệ thức thực nghiệm được đưa ra bởi Mc. Adams phụ thuộc và tốc độ gió theo biểu thức (3.2.8)

3.2.3. Truyền nhiệt bằng bức xạ

Tất cả các vật có nhiệt độ cao hơn nhiệt độ tuyệt đối đều phát ra xung quanh một năng lượng dưới dạng bức xạ nhiệt. Hiện tượng này được gọi là sự phát xạ nhiệt. Phổ bức xạ phụ thuộc bước sóng của bức xạ và nhiệt độ của vật phát xạ. Phổ bức xạ Mặt Trời khi ở bên ngoài lớp khí quyển phân bố tập trung vào dải sóng có bước sóng từ $0,2 \div 25 \mu m$ (hình 1.3.1). Khi bức xạ đi qua lớp khí quyển bị hấp thụ một phần như đã nói ở chương 2. Trên mặt đất phổ năng lượng chỉ còn tồn tại ở dải sóng $\lambda = 0,29 \div 3 \mu m$. Trước tiên chúng ta hãy nghiên cứu sự phát xạ của vật đen.



Hình 3.2.6. Phân bố phổ phát xạ của vật đen là một hàm của nhiệt độ tuyệt đối.
(Theo định luật PLANCK)

1. *Phát xạ của vật đen.* Vật đen được định nghĩa là một vật lý tưởng, nó có thể hấp thụ cũng như phát xạ tất cả các bức xạ có bước sóng từ 0 đến ∞ . Ví dụ, một cái bình rỗng được khoét một lỗ có đường kính rất nhỏ, thành trong của bình được phủ một lớp mờ hống. Khi các tia bức xạ xuyên qua lỗ này vào trong bình thì chúng bị bình hấp thụ hoàn toàn. Một cách gần đúng có thể coi bình này như một vật đen. Planck đã đưa ra một định luật để mô tả phổ phát xạ của vật đen được mô tả bằng hệ thức

$$M_{\lambda}^0 = M_{\lambda}^0(\lambda, T), (W/m^2) \quad (3.2.24)$$

Ở đây, M_{λ}^0 là năng lượng phổ phát xạ đơn sắc, có nghĩa là năng lượng phát xạ trên một dải sóng có chiều dài sóng λ . Sự phụ thuộc của M_{λ}^0 vào bước sóng và nhiệt độ được mô tả trên hình 3.2.6. Với các nhiệt độ khác nhau cho những đường cong phổ khác nhau và cực đại của đường cong ứng với nhiệt độ càng cao, càng dịch chuyển về phía có bước sóng ngắn. Năng lượng bức xạ nhiệt do một vật đen phát ra từ một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian trong toàn không gian bán cầu, (góc đặc bằng 2π Stéradian) với mọi bước sóng cho bởi tích phân theo đường cong cho trong biểu thức dưới đây

$$M^0 = \int_0^{\infty} M_{\lambda}^0 d\lambda \quad (3.2.25)$$

Theo Stéfan thì (3.2.25) có thể viết lại như sau

$$M^0 = \sigma T^4 \quad (3.2.26)$$

trong đó, σ là hằng số Stéfan - Boltzmann, có giá trị bằng $5,67 \cdot 10^{-8} (Wm^{-2}.K^{-4})$;

T - nhiệt độ tuyệt đối của vật phát xạ;

M^0 - năng lượng phát ra trên một đơn vị diện tích, trong một đơn vị thời gian ($Wm^{-2}s^{-1}$) hay còn được gọi là *mật độ thông lượng nhiệt*.

Đối với một vật thực bất kỳ thì năng lượng phát xạ trên một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian được xác định bằng biểu thức sau

$$M = \sigma \epsilon T^4 \quad (3.2.27)$$

trong đó, ϵ là hệ số phát xạ toàn phần của vật thực, nó phụ thuộc vào nhiệt độ và trạng thái bề mặt của vật phát xạ. Vật có màu càng sẫm giá trị của ϵ càng lớn, vật màu sáng giá trị ϵ bé. Đối với vật đen tuyệt đối $\epsilon = 1$, các vật thực $0 < \epsilon < 1$.

2. Hệ số bức xạ nhiệt. (truyền năng lượng dưới dạng bức xạ nhiệt)

a- Bức xạ tương hỗ giữa hai bề mặt song song được đặt trong chân không (hình 3.2.7a).

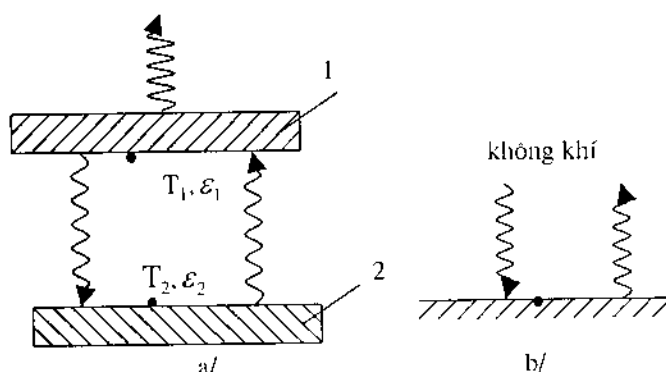
Giả sử có hai mặt phẳng 1 và 2 diện tích A đặt song song nhau trong chân không, có nhiệt độ tương ứng T_1 và T_2 , và hệ số phát xạ toàn phần tương ứng ε_1 và ε_2 , thì thông lượng nhiệt trao đổi giữa chúng được xác định theo biểu thức:

$$\dot{q}_{1,2} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)A}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = h_r(T_1 - T_2)A, (W) \quad (3.2.28)$$

Trong đó, h_r là hệ số bức xạ nhiệt được định nghĩa bằng biểu thức

$$h_r = \frac{\sigma(T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (3.2.29)$$

b- Bức xạ tương hỗ giữa một mặt phẳng và không khí (hình 3.2.7b). Ngoại trừ loại khí trong suốt đối với bức xạ, đặc biệt là các khí đơn nguyên tử, các khí còn lại đều có hiện tượng hấp thụ và phản xạ. Với từng loại khí thì sự hấp thụ hoặc phản xạ tương ứng với các khoảng bước sóng khác nhau. Người ta có thể xác định hệ số trao đổi nhiệt toàn phần đối với một hỗn hợp khí cho trước, khi biết được chiều dày của mỗi lớp khí cũng như



Hình 3.2.7. Truyền nhiệt dưới dạng bức xạ nhiệt:

a- giữa hai bề mặt song song;

b- giữa bề mặt và không khí.

áp suất riêng phần của mỗi loại khí chứa trong hỗn hợp khí (đặc biệt là H_2O và CO_2). Áp dụng phương trình (3.2.28) thay các hệ số phát xạ $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ tương ứng với hỗn hợp khí và mặt phẳng cho trước. Nếu $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1$ thì biểu thức (3.2.28) trở thành.

$$\dot{q}_{1,2} = \sigma A \varepsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (3.2.30)$$

Nếu gọi A là diện tích của mặt phẳng 1, có nhiệt độ T_1 và hệ số phát xạ ε_1 tiếp xúc với môi trường có nhiệt độ T_2 ($T_2 < T_1$) thì thông lượng nhiệt bức xạ truyền từ tường ra môi trường sẽ là

$$\dot{q}_r = \sigma A \varepsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (3.2.31)$$

Từ (3.2.28 và 3.2.31) ta rút ra được h_r trong trường hợp này, có thêm thừa số hiệu chỉnh do sự khác nhau giữa nhiệt độ môi trường (T_a) và nhiệt độ bầu trời (T_{bt}) là

$$h_r = \frac{\dot{q}_r}{A(T_1 - T_2)} = \frac{\sigma \varepsilon_1 A(T_1^4 - T_2^4)}{A(T_1 - T_2)} = \sigma \varepsilon_1 (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2) \left(\frac{T_a - T_{bt}}{T_n - T_a} \right) \quad (3.2.32)$$

Từ (3.2.31) ta rút ra được

$$\dot{q}_r = h_r(T_1 - T_2)A \quad (3.2.33)$$

§3.3. Khảo sát các quá trình trao đổi nhiệt xảy ra đồng thời

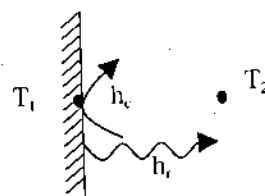
3.3.1. Hệ số trao đổi nhiệt hỗn hợp đối lưu và bức xạ

Giả sử một mặt phẳng diện tích A , nhiệt độ T_1 tiếp xúc với không khí có nhiệt độ T_2 , ($T_1 > T_2$) khi đó sẽ xảy ra đồng thời hai quá trình truyền nhiệt: đối lưu và bức xạ (hình 3.3.1). Nếu gọi tổng nhiệt lượng trao đổi giữa tường có tiết diện A và không khí trong một đơn vị thời gian là

$$\dot{q}_l = \dot{q}_c + \dot{q}_r = (h_c + h_r)(T_1 - T_2)A = h_{c,r}(T_1 - T_2)A \quad (3.3.1)$$

trong đó, $h_{c,r} = (h_c + h_r)$ gọi là hệ số trao đổi nhiệt hỗn hợp đối lưu và bức xạ.

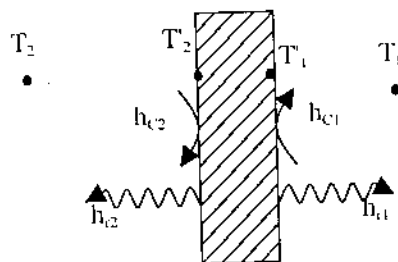
Hình 3.3.1. Trao đổi nhiệt hỗn hợp giữa tường và không khí.



3.3.2. Trường hợp chung

Xét một khối khí ở bên phải bức tường có nhiệt độ T_1 truyền nhiệt qua bức tường diện tích A , chiều dày δ , hệ số dẫn nhiệt của tường λ , nhiệt độ trên hai mặt tiếp xúc giữa tường và không khí là T'_1 và T'_2 ($T'_1 > T'_2$), đến khối khí bên trái của bức tường có nhiệt độ là $T_2 < T'_2$ (hình 3.3.2). Ở đây ta thấy sự truyền nhiệt gồm cả ba quá trình: Trao đổi nhiệt đối lưu và bức xạ giữa tường và không khí ở hai bên tường, tương ứng với hai phía là h_{c1} , h_{r1} và h_{c2} , h_{r2} , đồng thời dẫn nhiệt từ phía phải nhiệt độ T'_1 qua phía trái của tường nhiệt độ T'_2 .

Hình 3.3.2. Mô hình trao đổi nhiệt hỗn hợp: dẫn nhiệt, bức xạ và đối lưu với hai mặt tường có nhiệt độ khác nhau $T'_1 > T'_2$.



Khi đó thông lượng nhiệt truyền từ khối khí bên trái sang khối khí bên phải được biểu thị bằng các phương trình truyền nhiệt tương ứng cho từng đoạn như sau:

- Từ môi trường 1 với tường

$$\dot{q} = (h_{c1} + h_{r1})(T_1 - T_1')A = h_{1cr}(T_1 - T_1')A \quad (3.3.2)$$

- Giữa hai bề mặt của tường:

$$\dot{q} = \frac{\lambda}{\delta}(T_1' - T_2')A \quad (3.3.3)$$

- Giữa tường và môi trường 2:

$$\dot{q} = (h_{c2} + h_{r2})(T_2' - T_2)A = h_{2cr}(T_2' - T_2)A \quad (3.3.4)$$

Từ ba phương trình trên ta có thể viết gọn thành một phương trình tổng quát dưới đây

$$\dot{q} = k(T_1 - T_2)A \quad (3.3.5)$$

trong đó, k được gọi là hệ số trao đổi nhiệt hỗn hợp ($Wm^{-2}K^{-1}$).

Ngược đảo của hệ số truyền nhiệt $1/k$ được gọi là *nhiệt trở*. Từ (3.3.2-3.3.5) ta viết được nhiệt trở toàn phần

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{h_{1cr}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_{2cr}} \quad (3.3.6)$$

Từ (3.3.6) ta có thể suy rộng cho trường truyền nhiệt qua một bức tường được cấu tạo bởi nhiều lớp vật liệu khác nhau và chiều dày khác nhau. Khi đó nhiệt trở qua hệ thống các lớp tường được tính bằng công thức

$$\frac{\delta}{\lambda} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (3.3.7)$$

Và nhiệt trở toàn phần sẽ là

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{h_{1cr}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{2cr}} \quad (3.3.8)$$

Câu hỏi ôn tập và bài tập chương 3

Câu hỏi

1. Định nghĩa và phân biệt các khái niệm về các quá trình truyền nhiệt.
2. Nêu các công thức định nghĩa và ý nghĩa của các tiêu chuẩn Nu, Re và Gr.
3. Viết các công thức áp dụng của tiêu chuẩn Nu cho các trường hợp trao đổi nhiệt đối lưu giữa hai mặt phẳng song song nằm ngang, nghiêng một góc 45° , và thẳng đứng khi nhiệt độ của chất tải nhiệt chảy giữa hai tấm $T=10^\circ\text{C}$ và $T \neq 10^\circ\text{C}$.
4. Viết biểu thức tính hệ số trao đổi nhiệt bức xạ giữa hai mặt phẳng song song có nhiệt độ tương ứng T_1 và T_2 với $T_1 > T_2$, và hệ số phát xạ $\varepsilon_1, \varepsilon_2$. Nêu sự khác nhau giữa hai khái niệm phát xạ và bức xạ.

Bài tập

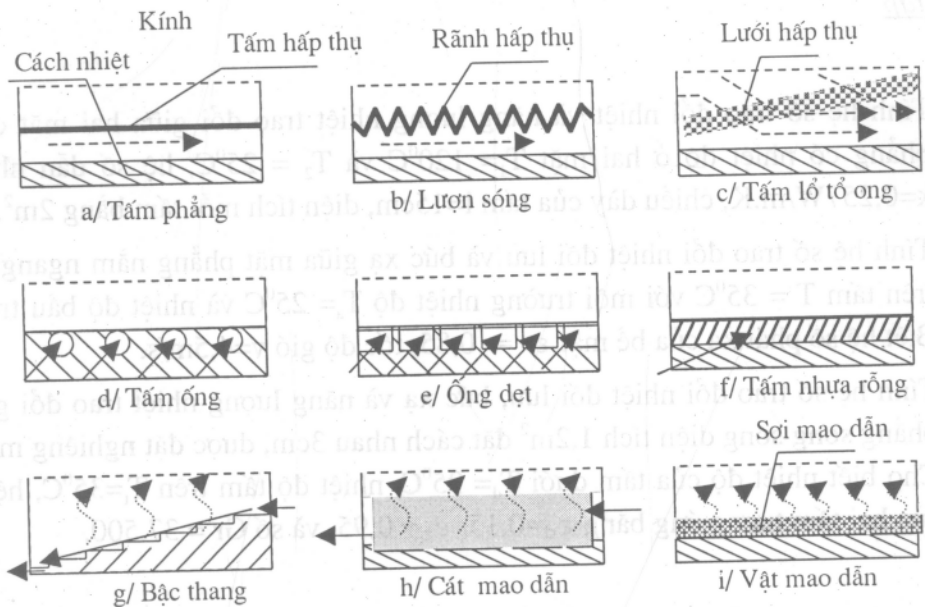
1. Tính hệ số trao đổi nhiệt và năng lượng nhiệt trao đổi giữa hai mặt của một tấm phẳng có nhiệt độ ở hai mặt $T_1 = 120^\circ\text{C}$ và $T_2 = 25^\circ\text{C}$, hệ số dẫn nhiệt của tấm $k = 0,257\text{W/m.K}$, chiều dày của tấm $l = 15\text{cm}$, diện tích mỗi tấm bằng 2m^2 .
2. Tính hệ số trao đổi nhiệt đối lưu và bức xạ giữa mặt phẳng nằm ngang có nhiệt độ trên tấm $T = 35^\circ\text{C}$ với môi trường nhiệt độ $T_a = 25^\circ\text{C}$ và nhiệt độ bầu trời $T_{bt} = 15^\circ\text{C}$. Biết hệ số phát xạ của bề mặt $\varepsilon = 0,85$, tốc độ gió $v = 4,5\text{m/s}$.
3. Tính hệ số trao đổi nhiệt đối lưu, bức xạ và năng lượng nhiệt trao đổi giữa hai mặt phẳng song song diện tích $1,2\text{m}^2$ đặt cách nhau 3cm , được đặt nghiêng một góc 45° . Cho biết nhiệt độ của tấm dưới $T_d = 95^\circ\text{C}$, nhiệt độ tấm trên $T_t = 35^\circ\text{C}$, hệ số phát xạ của hai tấm tương ứng bằng $\varepsilon_d = 0,15$, $\varepsilon_t = 0,95$, và số $\text{Gr} = 37.500$.

TÍNH TOÁN THIẾT KẾ BỘ THU BỨC XẠ NHIỆT MẶT TRỜI DẠNG TẤM PHẪNG (BỘ THU PHẪNG) - ĐUN NƯỚC NÓNG

Sau khi nghiên cứu các chương lý thuyết cơ bản về quan hệ tương tác giữa các tia bức xạ Mặt Trời và Trái Đất cũng như các định luật về lý thuyết truyền nhiệt, từ chương này chúng ta sẽ áp dụng các kết quả nghiên cứu vừa nhận được ở trên để tính cho bộ thu phẳng.

§4.1. Định nghĩa và kết cấu bộ thu phẳng

4.1.1. Định nghĩa bộ thu phẳng



Hình 4.1.1. Sơ đồ mô tả các dạng kết cấu của bộ thu phẳng dùng để nung nóng không khí, đun nước nóng và chưng cất nước.

Bộ thu phẳng là một hệ tấm phẳng: (kính, tấm hấp thụ, lớp cách nhiệt) được đặt song song nhau tạo thành một hệ bền vững. Về nguyên lý thì các bộ thu phẳng có cấu

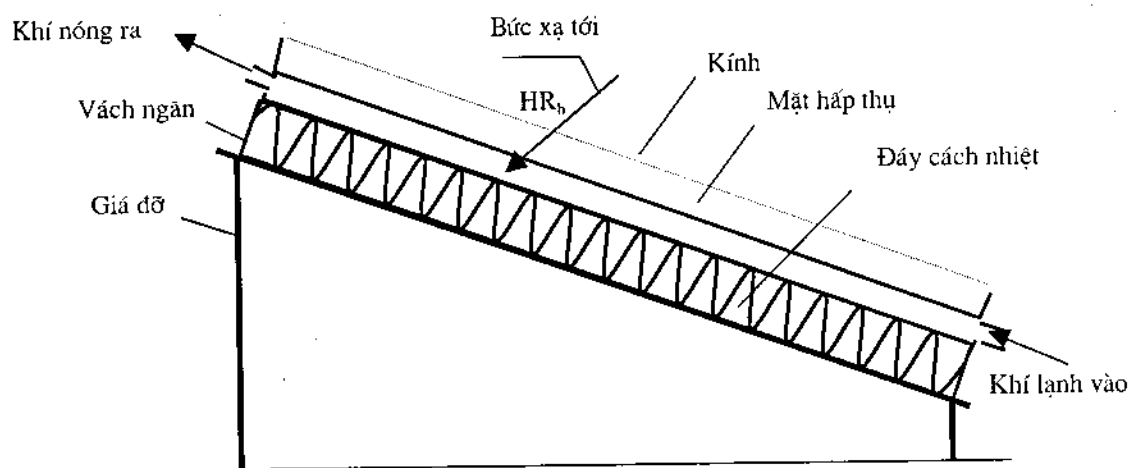
tạo dựa trên nguyên lý hiệu ứng nhà kính như đã trình bày ở chương 2. Nhưng tùy thuộc vào việc sử dụng nhiệt vào mục đích sử dụng: nung nóng không khí, đun nước nóng, chưng cất nước, bếp Mặt Trời v.v... mà cấu tạo bộ thu có hình dạng khác nhau, như mô tả trên hình (4.1.1).

Thí dụ, đối với các bộ thu với mục đích cung cấp khí nóng cho công nghệ sấy, hoặc sưởi ấm gia đình có thể có các dạng như trên hình 4.1.1 a, b, c hoặc để đun nước nóng, như trên hình 4.1.1 d, e, f, và dùng để chưng cất nước có dạng như hình 4.1.1g, h, i. v.v... Tiềm lợi của phương pháp này là bộ thu có kết cấu đơn giản, thuận tiện trong quá trình sử dụng, ít tốn công bảo dưỡng, nhận được tất cả tổng xạ của bức xạ Mặt Trời (gồm bức xạ trực xạ, và bức xạ tán xạ). Thiết bị không nhất thiết phải luôn luôn định hướng về phía Mặt Trời, nhưng nhiệt độ nhận được không cao, chỉ có thể đạt đến 150°C

4.1.2. Hình dạng của một vài loại thiết bị thu

1- Bộ thu phẳng dùng để nung nóng không khí

Hình 4.1.2 mô tả sơ đồ kết cấu bộ thu phẳng nung nóng không khí. Không khí lạnh vào trao đổi nhiệt với mặt hấp thụ và nóng lên rồi được đưa ra ngoài chuyển đến nơi sử dụng như lò sấy hoặc sưởi ấm cho gia đình.

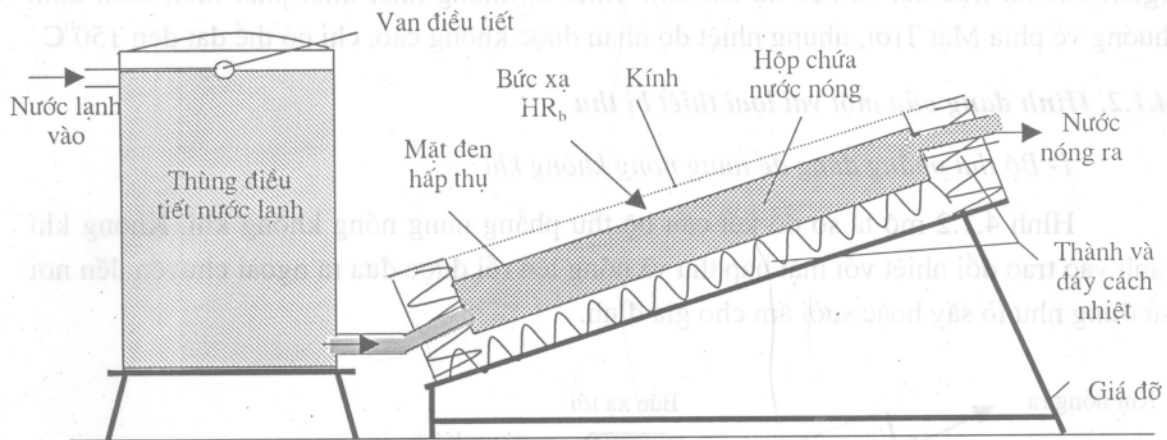


Hình 4.1.2. Kết cấu bộ thu bức xạ nung nóng không khí.

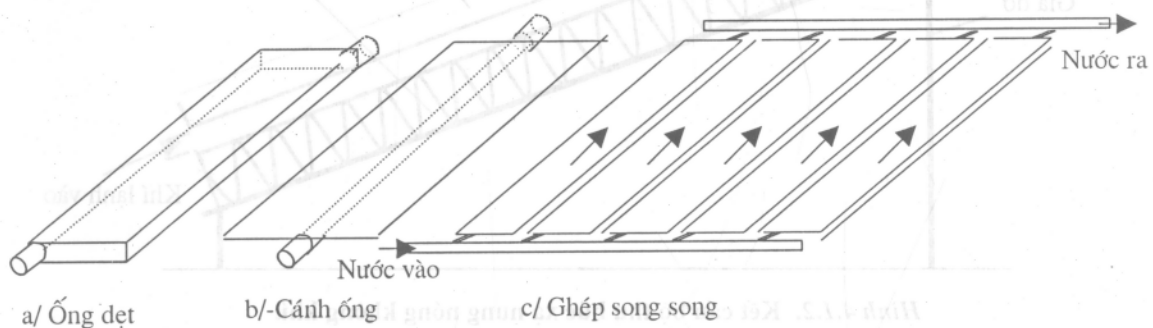
2. Thiết bị đun nước nóng

Hình 4.1.3 mô tả kết cấu một môđun của bộ thu phẳng đun nước có hộp chứa nước nóng bằng phương pháp đối lưu tự nhiên. Nước lạnh được cung cấp từ thùng điều tiết vào hộp chứa trong thiết bị, mức nước trong bình điều tiết phải cao hơn mức nước nóng ở đầu ra, để sao cho nước trong hộp chứa luôn ở trạng thái đầy, mặt nước bên trong

hộp chứa luôn được tiếp xúc với mặt hấp thụ làm cho việc trao đổi nhiệt giữa mặt hấp thụ và nước được tốt nhất. Nước trong hộp chứa nhận nhiệt từ mặt hấp thụ nóng dần lên. Khi dùng nước nóng thì nước lạnh luôn được bù vào bằng lượng nước vừa lấy ra. Nếu muốn có nhiều nước nóng ta có thể ghép song song nhiều môđun với nhau. Trong các cơ sở sản xuất chế biến hải sản, bệnh viện,... có nhu cầu nước nóng liên tục thì có thể dùng loại thiết bị thu theo kiểu hộp dẹt, hoặc dạng cánh-ống (hình 4.1.4 a,b,c) và ghép nối hỗn hợp, vừa song song vừa liên tiếp và dùng bơm tuần hoàn tạo dòng chảy cưỡng bức, để nước được luân chuyển tuần hoàn liên tục giữa thùng chứa nước nóng và thiết bị thu nhiệt, (hình 4.1.5)



Hình 4.1.3. Một môđun thiết bị đun nước gia đình có hộp chứa nước nóng bằng phương pháp đối lưu tự nhiên.

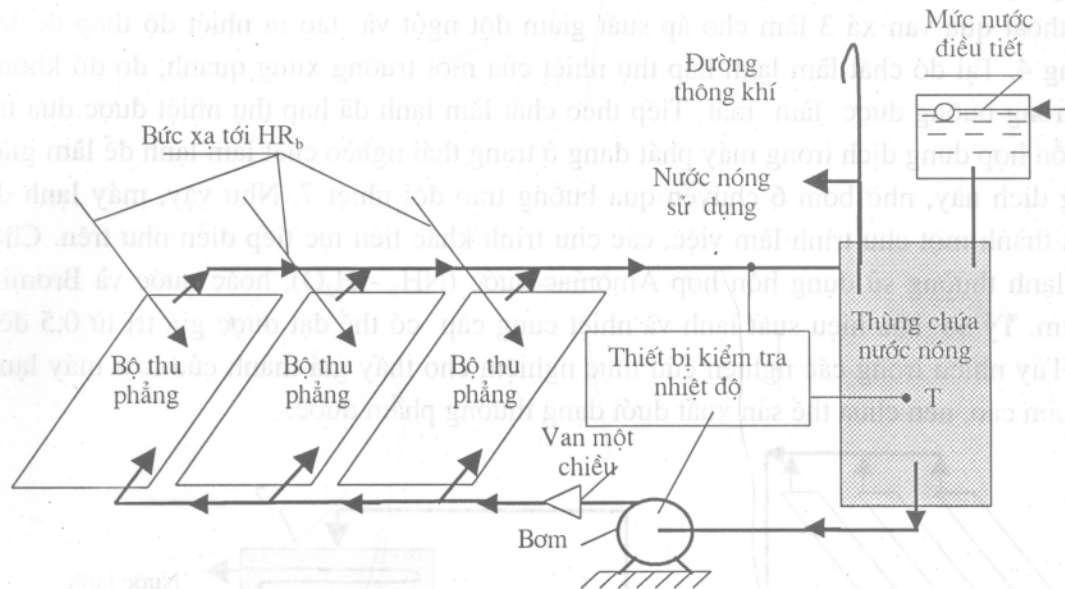


Hình 4.1.4. Hình dạng bộ phận hấp thụ bức xạ và cách ghép song song.

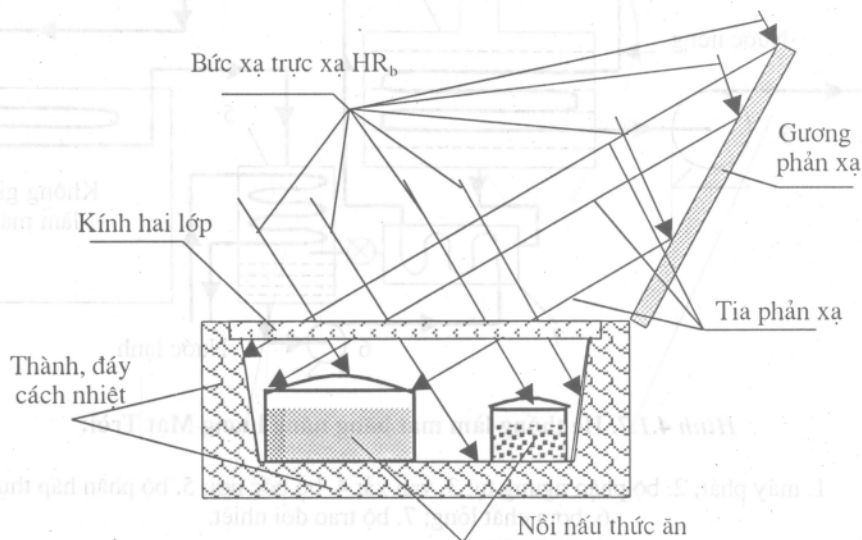
3- Bếp Mặt Trời

Ở những nơi có nhiều nắng (cường độ bức xạ cao và giờ nắng trong năm lớn) người ta ứng dụng nguyên lý hiệu ứng nhà kính để làm các loại bếp Mặt Trời để đun

nấu, thay thế cho các loại bếp đun củi, dầu, than v.v... Hình 4.1.6 dưới đây mô tả hình dáng và kết cấu của một loại bếp Mặt Trời. Bếp được gắn thêm từ một đến bốn tấm gương phản chiếu từ các cạnh mặt trên của hộp thu, nhằm tăng thêm cường độ bức xạ phản xạ cho bếp, các thành trong và nổi vùng đều được phủ một lớp sơn đen hấp thụ. Khi nắng tốt nhiệt độ bên trong có thể đạt đến $140 - 150^{\circ}\text{C}$.



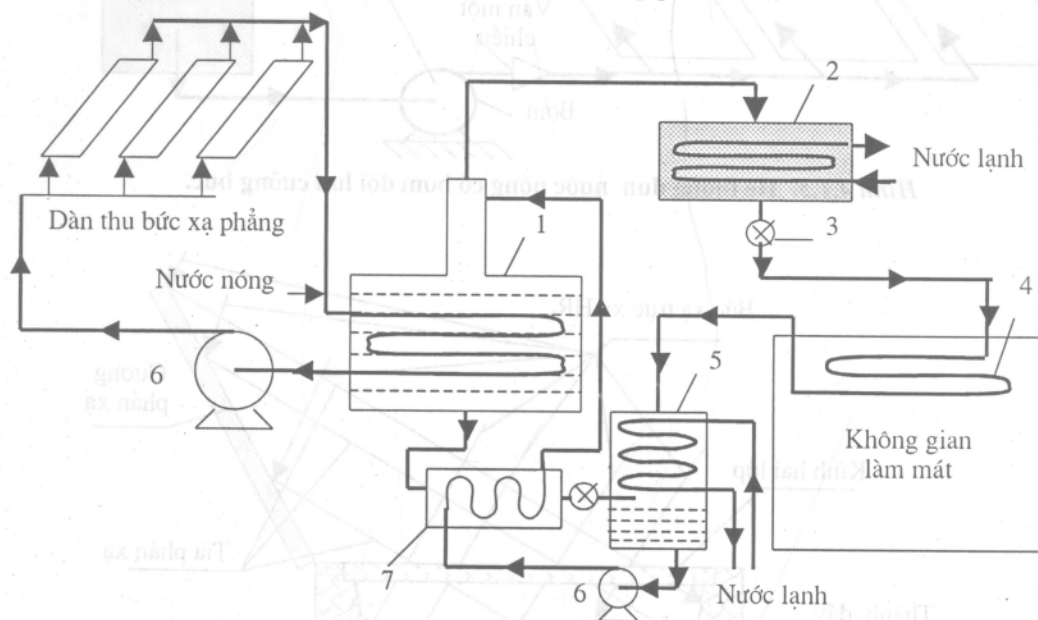
Hình 4.1.5. Hệ thống đun nước nóng có bơm đối lưu cưỡng bức.



Hình 4.1.6. Kết cấu bếp Mặt Trời.

4. Hệ thống làm lạnh hấp thụ bằng năng lượng Mặt Trời

Sơ đồ hệ thống hấp thụ bằng năng lượng Mặt Trời được mô tả trên hình 4.1.7. Nước nóng từ dàn thu bức xạ phẳng nhờ bơm cưỡng bức chuyển đến thiết bị được gọi là *máy phát 1*. Tại đây nhiệt được truyền cho hỗn hợp dung dịch chất hấp thụ và làm lạnh-giàu chất làm lạnh. Chất làm lạnh bốc hơi ở trạng thái sôi và tạo ra áp suất cao đưa tới bộ ngưng tụ 2. Ở đây, bộ ngưng tụ tạo ra chất lỏng có áp suất cao. Chất lỏng có áp suất cao thoát qua van xả 3 làm cho áp suất giảm đột ngột và tạo ra nhiệt độ thấp đi đến buồng 4. Tại đó chất làm lạnh hấp thụ nhiệt của môi trường xung quanh, do đó không khí trong buồng được làm mát. Tiếp theo chất làm lạnh đã hấp thụ nhiệt được đưa trở lại hỗn hợp dung dịch trong máy phát đang ở trạng thái nghèo chất làm lạnh để làm giàu dung dịch này, nhờ bơm 6 chuyển qua buồng trao đổi nhiệt 7. Như vậy, máy lạnh đã hoàn thành một chu trình làm việc, các chu trình khác liên tục tiếp diễn như trên. Chất làm lạnh thường sử dụng hỗn hợp Amoniac nước ($\text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$), hoặc nước và Bromit-Litium. Tỷ số của hiệu suất lạnh và nhiệt cung cấp có thể đạt được giá trị từ 0,5 đến 0,8. Tuy nhiên trong các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy giá thành của loại máy lạnh này còn cao, nên chưa thể sản xuất dưới dạng thương phẩm được.



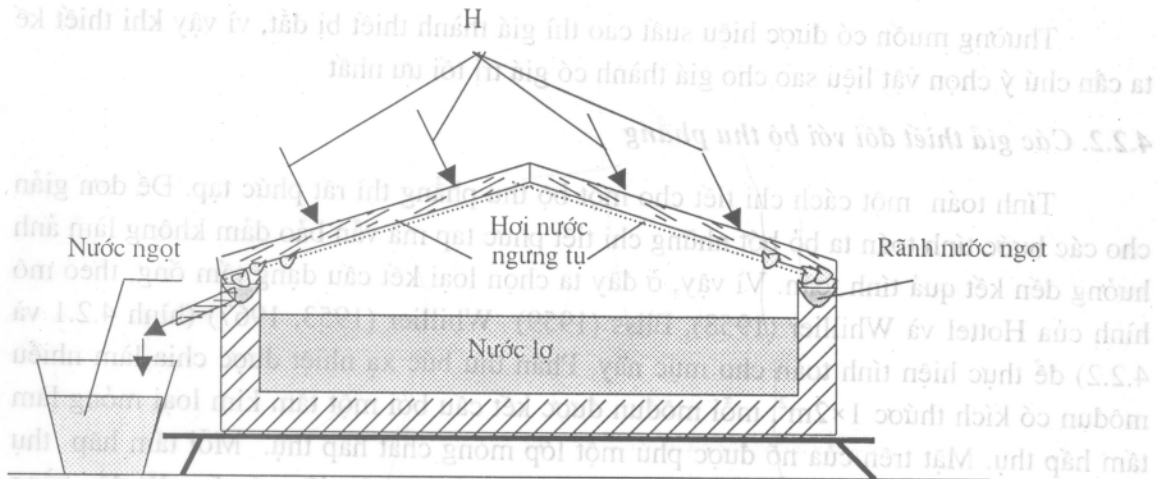
Hình 4.1.7. Hệ thống làm mát bằng năng lượng Mặt Trời:

1. máy phát; 2. bộ phận ngưng tụ; 3. van xả; 4. bộ bốc hơi; 5. bộ phận hấp thụ;
6. bơm chất lỏng; 7. bộ trao đổi nhiệt.

5. Thiết bị chưng cất nước

Hiện trong một số vùng nông thôn hoặc trên các hải đảo vào mùa khô người dân

thường bị thiếu nước ngọt dùng cho sinh hoạt và trên các đảo thường chỉ có nước lợ, hay nước biển mặn. Biện pháp chung cất nước lợ, nước phèn hoặc nước mặn thành nước ngọt bằng năng lượng Mặt Trời để dùng trong sinh hoạt hằng ngày thường đưa lại kết quả tốt. Hình 4.1.8 mô tả nguyên lý chung cất nước bằng thiết bị hấp thụ bức xạ Mặt Trời. Nước lợ được chứa trong bể, trên mặt bể được dây bằng mái kính. Hai thành bên được xẻ hai rãnh góp nước. Khi nước bên trong hấp thụ bức xạ nhiệt nóng lên và bốc hơi. Hơi nước bay lên gặp lạnh và ngưng tụ trên mặt đáy của kính và tích tụ thành giọt chảy vào rãnh góp ở phía cuối tấm kính, rồi tạo thành dòng chảy ra ngoài. Có nhiều biện pháp kỹ thuật kết cấu để có được năng suất cho nước sạch cao nhất như đã mô tả trên sơ đồ nguyên lý (hình 4.1.1.g,h,i).



Hình 4.1.8. Mô hình thiết bị chung cất nước.

Các thiết bị hiện nay có thể cho năng suất trung bình từ 3-4lít/m²/ngày. Dưới đây ta sẽ phân tích tính toán chi tiết một thiết bị đun nước nóng bằng năng lượng Mặt Trời nhờ ứng dụng bộ thu phẳng.

§4.2. Định nghĩa, giả thiết và phương pháp tính toán một bộ thu phẳng

4.2.1. Định nghĩa hiệu suất bộ thu

Sự hoạt động của bộ thu phẳng dựa trên cơ sở định luật bảo toàn năng lượng. Giả sử bộ thu có diện tích A_c , năng lượng bức xạ Mặt Trời từ mọi phương trong vòm trời gửi tới bề mặt bộ thu phẳng là HR_b ; năng lượng có ích mà chất tải nhiệt nhận được là Q_U ; năng lượng để làm nóng các vật liệu cấu tạo bộ thu phẳng là Q_s và phần năng lượng mất mát ra môi trường chung quanh là Q_L , thì tại một thời điểm bất kỳ ta có thể viết được phương trình cân bằng năng lượng sau

$$HR_b A_c = Q_U + Q_L + Q_s \quad (4.2.1)$$

trong đó, H - năng lượng bức xạ gửi tới trên một đơn vị diện tích bề mặt nằm ngang, (W/m^2);

R_b - hệ số chuyển đổi từ mặt phẳng nằm ngang sang mặt phẳng nằm nghiêng;

A_c - diện tích của bộ thu phẳng, (m^2);

Q_u , Q_L và Q_s tương ứng với năng lượng có ích, năng lượng mất mát và năng lượng tích trữ trong các loại vật liệu cấu tạo bộ thu, (W).

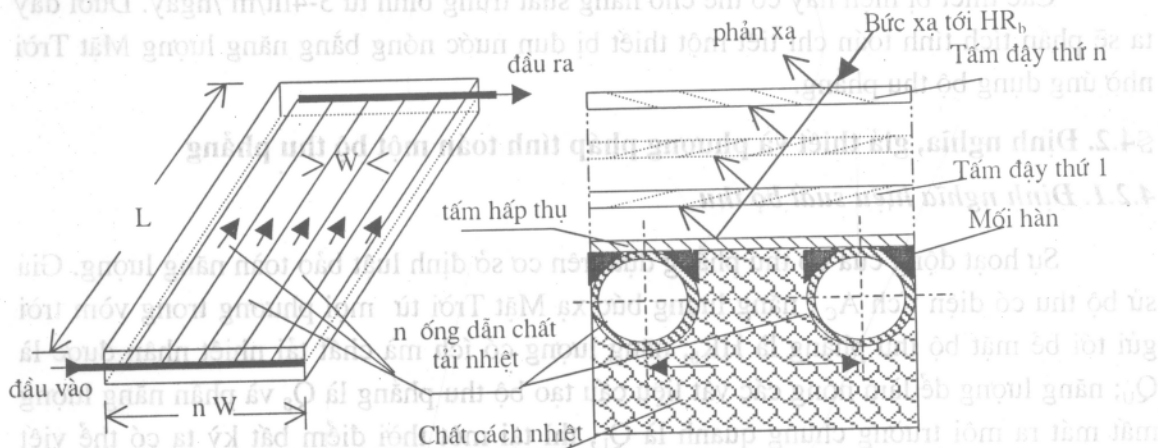
Hiệu suất bộ thu được định nghĩa như sau

$$\eta = \frac{\int_0^t Q_u dt}{\int_0^t H R_b dt} \quad (4.2.2)$$

Thường muốn có được hiệu suất cao thì giá thành thiết bị đắt, vì vậy khi thiết kế ta cần chú ý chọn vật liệu sao cho giá thành có giá trị tối ưu nhất

4.2.2. Các giả thiết đối với bộ thu phẳng

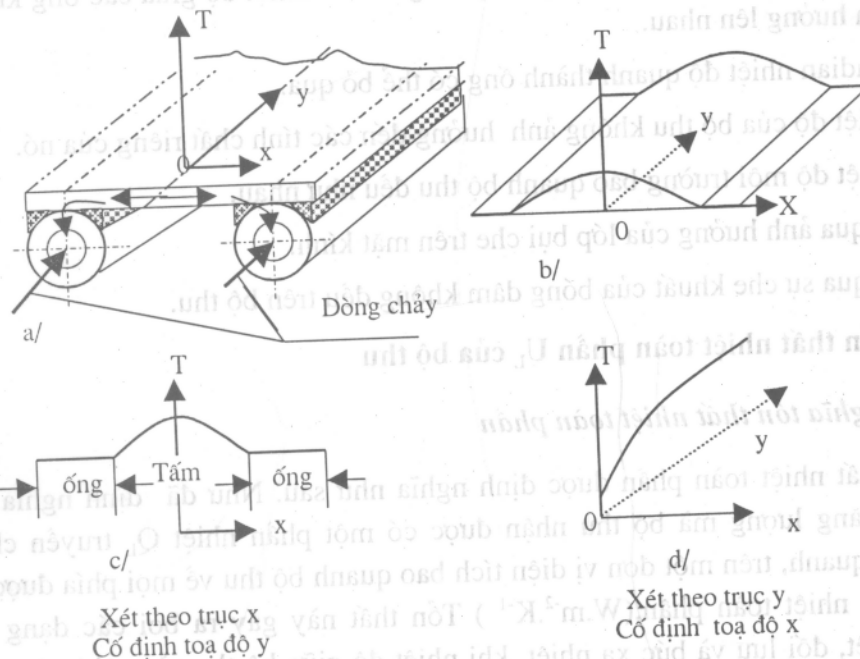
Tính toán một cách chi tiết cho một bộ thu phẳng thì rất phức tạp. Để đơn giản cho các bước tính toán ta bỏ bớt những chi tiết phức tạp mà vẫn bảo đảm không làm ảnh hưởng đến kết quả tính toán. Vì vậy, ở đây ta chọn loại kết cấu dạng tấm ống, theo mô hình của Hottel và Whillier (1958), Bliss (1959) Whillier (1953, 1967) (hình 4.2.1 và 4.2.2) để thực hiện tính toán cho mục này. Phần thu bức xạ nhiệt được chia làm nhiều môđun có kích thước $1 \times 2 m^2$, mỗi môđun được kết cấu bởi một tấm kim loại mỏng làm tấm hấp thụ. Mặt trên của nó được phủ một lớp mỏng chất hấp thụ. Mỗi tấm hấp thụ được hàn chặt với nhiều ống dẫn bằng kim loại. Khoảng cách giữa các ống W đều bằng nhau. Mỗi đoạn W được gọi là cánh, nên kết cấu này được gọi là dạng *cánh - ống*.



Hình 4.2.1. Cấu tạo bộ thu phẳng dạng cánh - ống.

Hình 4.2.2. Mặt cắt ngang bộ thu phẳng dạng cánh - ống.

Xem hình 4.2.1, hình 4.2.3 a,b mô tả phương, chiều truyền nhiệt và gradian nhiệt độ theo trục x- (chiều ngang của cánh, vuông góc dòng chảy); và gradian nhiệt độ theo trục Y (chiều dòng chảy). Gốc tọa độ 0 được gán tại trung tâm của cánh, ở giữa cách đều hai ống (h.4.2.3a,b,c,d).



Hình 4.2.3 a/- kết cấu tấm-ống; b/- phân bố nhiệt độ. c/- theo trục x; d/- theo trục y.

Để đơn giản cho việc tính toán ta cần thừa nhận các giả thiết sau:

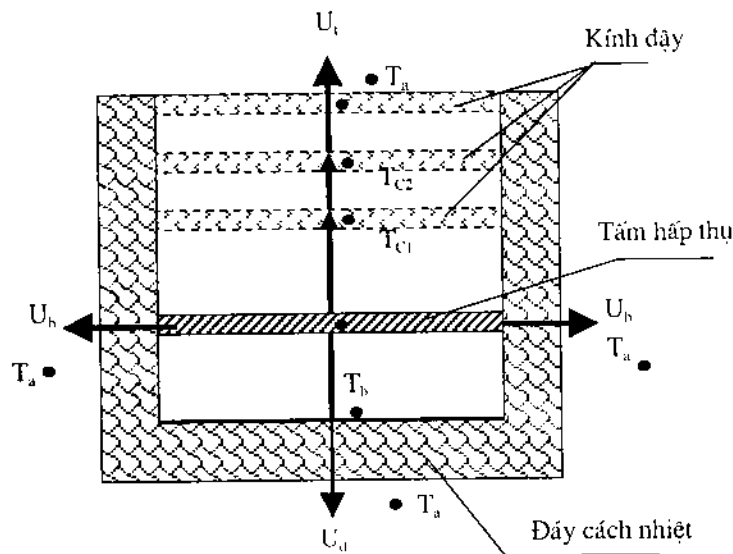
- 1- Chia chiều dài cánh thành nhiều phần tử Δy được gọi là bước, với chiều dài mỗi bước sao cho nhiệt độ trong đó được coi là đồng đều.
- 2- Dùng mô hình kết cấu dạng tấm – ống.
- 3- Phần diện tích ở hai đầu mút của cánh được coi là nhỏ không đáng kể so với cả cánh nên có thể bỏ qua.
- 4- Lưu lượng dòng chảy ở các đầu ống trong toàn hệ được coi là giống hệt như trong ống.
- 5- Năng lượng bức xạ bị hấp thụ bởi các tấm kính đây được tính chung vào tổn thất lên phía trên U_t của bộ thu.
- 6- Thông lượng nhiệt qua các tấm đây theo một chiều từ trong ra ngoài.
- 7- Bỏ qua sự phân bố nhiệt không đều giữa các tấm kính.

- 8- Thông lượng nhiệt qua lớp cách nhiệt theo chiều từ mặt hấp thụ xuống phía đáy.
- 9- Coi bầu trời là vật đen. Đối với bức xạ sóng dài ở nhiệt độ bầu trời tương đương với bức xạ vật đen.
- 10- Gradian nhiệt độ theo dòng chảy và gradient nhiệt độ giữa các ống không gây ảnh hưởng lên nhau.
- 11- Gradian nhiệt độ quanh thành ống có thể bỏ qua.
- 12- Nhiệt độ của bộ thu không ảnh hưởng đến các tính chất riêng của nó.
- 13- Nhiệt độ môi trường bao quanh bộ thu đều như nhau.
- 14- Bỏ qua ảnh hưởng của lớp bụi che trên mặt kính.
- 15- Bỏ qua sự che khuất của bóng dâm không đều trên bộ thu.

§4.3. Tính tổn thất nhiệt toàn phần U_L của bộ thu

4.3.1. Định nghĩa tổn thất nhiệt toàn phần

Tổn thất nhiệt toàn phần được định nghĩa như sau. Như đã định nghĩa ở biểu thức (4.2.1) năng lượng mà bộ thu nhận được có một phần nhiệt Q_L truyền cho môi trường chung quanh, trên một đơn vị diện tích bao quanh bộ thu về mọi phía được gọi là hệ số tổn thất nhiệt toàn phần. ($W.m^{-2}.K^{-1}$) Tổn thất này gây ra bởi các dạng truyền nhiệt: dẫn nhiệt, đối lưu và bức xạ nhiệt, khi nhiệt độ giữa bộ thu và môi trường chênh lệch $1^\circ C$ hình. 4.3.1.



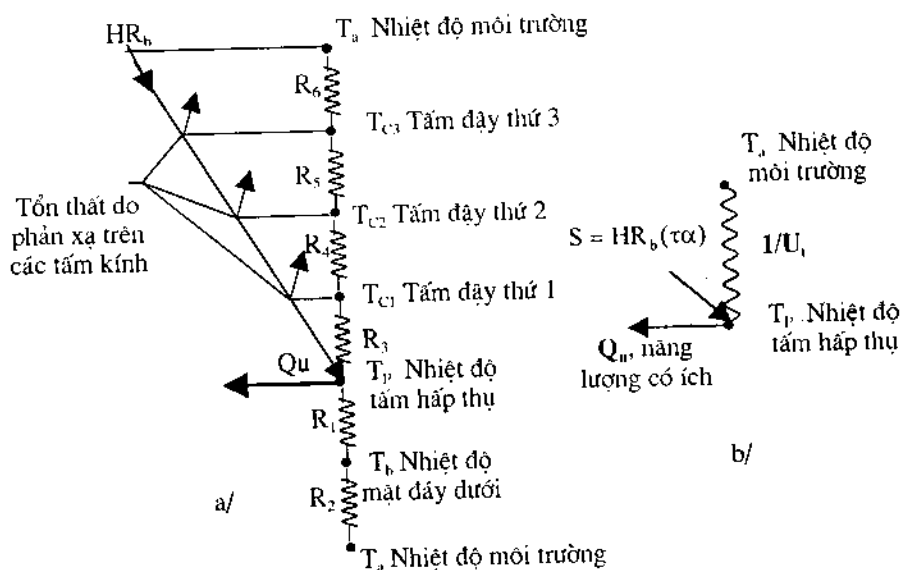
Hình 4.3.1. Tổn thất nhiệt qua các mặt bao quanh bộ thu phẳng.

Để thuận tiện cho việc tính người ta coi quá trình truyền nhiệt giữa các vật giống như quá trình dẫn điện trong một mạch điện như được mô tả trên hình 4.3.2, từ đó người ta đưa ra các quy ước sau:

a- Chênh lệch nhiệt độ giữa hai điểm bất kỳ tương đương hiệu thế giữa hai điểm đó.

b- Dòng nhiệt truyền từ điểm có nhiệt độ cao xuống điểm có nhiệt độ thấp tương đương như dòng điện.

c- Tổn thất nhiệt trong các quá trình trao đổi nhiệt giữa các điểm như tổn thất nhiệt gây ra bởi điện trở. Từ đó người ta định nghĩa *nhiệt trở* (tương đương điện trở) của các quá trình truyền nhiệt là $R_t = 1/k$. Trong đó k là hệ số truyền nhiệt hỗn hợp hoặc chỉ là hệ số dẫn nhiệt (tương đương độ dẫn điện).



Hình 4.3.2a. Mô phỏng mạng lưới nhiệt trở trong bộ thu phẳng.

Hình 4.3.2b. Tổn thất nhiệt từ tấm hấp thụ ra môi trường.

Từ những quy ước này ta có thể xây dựng một "mạch nhiệt" giống như một mạch điện để áp dụng được định luật Ohm khi giải các bài toán về truyền nhiệt. Một đoạn "mạch nhiệt" mô tả quá trình truyền nhiệt giữa tấm hấp thụ và môi trường (hình 4.3.2a), và (hình 4.3.2b). Dưới đây ta sẽ lần lượt tính tổn thất nhiệt từ trung tâm bộ thu phẳng ra ngoài qua các phía: mặt đáy, thành bên và cuối cùng là mặt trên.

4.3.2. Các dạng tổn thất nhiệt

1. Tổn thất nhiệt qua mặt đáy U_d

Năng lượng mất qua mặt đáy được mô phỏng bằng một chuỗi nhiệt trở ký hiệu bằng R_1, R_2 (hình 4.3.2a). Trong đó $1/R_1$ là tổn thất nhiệt do dẫn nhiệt qua lớp cách

hiệt, và $1/R_2$ - tổn thất nhiệt đối lưu bên trong lớp cách nhiệt ra môi trường chung quanh. Giá trị $1/R_2$ thường được bỏ qua vì quá nhỏ so với $1/R_1$, nhiệt tổn thất qua một đơn vị diện tích mặt đáy khi chênh lệch nhiệt độ bằng 1°C là

$$U_b = \frac{1}{R_1} = \frac{k}{L} \quad (4.3.1)$$

Trong đó, k là độ dẫn nhiệt của chất cách nhiệt ($\text{W/m}^2\text{K}$); L là chiều dày của lớp cách nhiệt (m).

2. Tổn thất nhiệt qua các thành bên U_b

Việc đánh giá tổn thất nhiệt qua thành bên của các bộ thu nói chung rất phức tạp. Tuy nhiên, trong thực tế tổn thất này là rất nhỏ so với tổn thất nhiệt qua mặt trên nên thường được bỏ qua. Qua nghiên cứu thực nghiệm Tabor đề nghị là khi chiều dày lớp cách nhiệt của thành bao quanh bằng chiều dày lớp cách nhiệt của đáy, thì có thể tính thông lượng nhiệt truyền từ trong ra ngoài cho toàn chu vi bộ thu giống như khi tính cho mặt đáy.

3. Tổn thất nhiệt qua mặt trên U_t

Tổn thất nhiệt qua mặt trên của bộ thu có phức tạp hơn. Tổn thất nhiệt được tính từ tấm hấp thụ ra môi trường, bao gồm các hiện tượng: đối lưu và bức xạ giữa tấm hấp thụ có nhiệt độ T_p và nhiệt độ bầu trời T_{bt} , (gần đúng nhiệt độ bầu trời có thể coi bằng nhiệt độ môi trường T_a). Việc tính toán có thể thực hiện cho từng lớp gồm hai mặt song song liền kề nhau: ví dụ, tấm hấp thụ và tấm đáy số 1, ứng với nhiệt trở R_3 (hình 4.3.2a) các tấm đáy song song 1-2 nhiệt độ $(T_1 - T_2)$, và 2-3 nhiệt độ $(T_2 - T_3)$ tương ứng với các nhiệt trở R_4, R_5 ; và tấm đáy trên cùng với môi trường, nhiệt độ $(T_3 - T_a)$ tương ứng R_6 .

Trước hết ta tính quá trình trao đổi nhiệt giữa tấm hấp thụ có nhiệt độ T_p và tấm kính phủ thứ 1 có nhiệt độ $T_{C,1}$, (Sự tính toán quá trình trao đổi nhiệt giữa các tấm kính song song còn lại cũng giống hệt như thế). Ở đây ta cần lưu ý rằng, khi tính toán ta đã bỏ qua phần năng lượng tích trữ trong các tấm kính (việc này ta sẽ xét ở phần sau). Từ đó, khi áp dụng phương trình đối với truyền nhiệt hỗn hợp (3.2.26) ta viết được biểu thức năng lượng trao đổi giữa tấm hấp thụ và tấm kính thứ 1, bao gồm cả đối lưu và bức xạ là:

$$q_{p-C,1} = h_{p-C,1} \cdot (T_p - T_{C,1}) + \frac{\sigma(T_p^4 - T_{C,1}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_K} - 1} \quad (4.3.2)$$

trong đó, $h_{p-C,1}$ hệ số đối lưu giữa tấm hấp thụ nhiệt độ T_p và tấm kính thứ nhất có nhiệt độ $T_{C,1}$ ($\text{W/m}^2\text{K}$);

σ - là hằng số Stéfan- Boltzmann, có giá trị $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$;

$\varepsilon_p, \varepsilon_k$ tương ứng hệ số phát xạ của tấm hấp thụ và kính.

Để đơn giản trong việc tính toán ta tạm coi số hạng thứ hai trong biểu thức (4.3.2) là tuyến tính thì ta có thể viết lại như sau

$$q_{p-cl} = (h_{p-cl} + h_{r,l}) (T_p - T_{c+1}) \quad (4.3.3)$$

trong đó, ta đặt
$$h_{r,l} = \sigma (T_p + T_l) (T_p^2 + T_l^2) / \left(\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_k} - 1 \right)$$

và $h_{r,l}$ được gọi là hệ số trao đổi nhiệt do bức xạ giữa tấm hấp thụ và tấm kính phủ thứ nhất. Do đó nhiệt trở R_3 có thể viết

$$R_3 = \frac{1}{h_{p-cl} + h_{r,l}} \quad (4.3.4)$$

Một cách tương tự ta có thể viết phương trình truyền nhiệt của các cặp kính đây còn lại cho đến tấm cuối cùng với môi trường có nhiệt độ T_a . Từ đó ta có thể suy ra R_4, R_5 là giống nhau. Nói chung các nhiệt trở này khác với R_3 , vì R_3 có nhận thêm bức xạ từ tấm hấp thụ, còn R_4, R_5 thì không. Hệ số phát xạ của các tấm kính nói chung là khác với hệ số phát xạ của tấm hấp thụ, vì tấm hấp thụ thường được phủ bằng lớp vật liệu có tính chọn lọc với bức xạ có bước sóng thích hợp. Ví dụ, lớp sơn hấp thụ có khả năng hấp thụ cao đối với phổ bức xạ Mặt Trời nhìn thấy được, nhưng lại có khả năng phát xạ thấp đối với phổ bức xạ nhiệt. Các bộ thu thông dụng thường dùng một tấm kính phủ để giá thành thấp, nên tổn thất nhiệt lên phía trên lớn hơn, do đó hiệu suất bị giảm một ít. Tuy nhiên, sự giảm hiệu suất này là không đáng kể so với việc tăng thêm một tấm kính làm cho giá thành của bộ thu tăng một cách đáng kể.

Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu giữa mặt trên của tấm đây cuối cùng và bầu trời cũng giống như biểu thức (4.3.4) nhưng mặt trên của kính có gió thổi qua nên người ta phải dùng thêm công thức thực nghiệm (3.2.8) để xác định hệ số toả nhiệt từ mặt trên của tấm kính cuối cùng với môi trường.

$$h_w = 5,7 + 3,8v$$

trong đó v là vận tốc gió.

Sự trao đổi nhiệt do hiện tượng bức xạ từ mặt trên của tấm kính trên cùng có nhiệt độ T_n với bầu trời T_{bt} . Hệ số trao đổi nhiệt trong trường hợp này được biểu diễn bằng công thức

$$U_t = \left[\frac{n}{(344/T_p)[(T_p - T)/(n + f)]^{0,31} + \frac{1}{h_w}} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{[\epsilon_{p1} + 0,0425n(1 - \epsilon_p)]^{-1} + [(2n + f - 1)/\epsilon_k] - n} \quad (4.3.9)$$

trong đó: n- số tấm kính;

$$f = (1,0 - 0,04h_w + 5,0 \cdot 10^{-4}h_w^2)(1 + 0,058n);$$

ϵ_k - hệ số phát xạ của kính = 0,88;

ϵ_p - hệ số phát xạ của tấm hấp thụ;

T_a, T_p - tương ứng nhiệt độ môi trường và nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ;

h_w - hệ số trao đổi nhiệt của gió (phương trình 3.2.8).

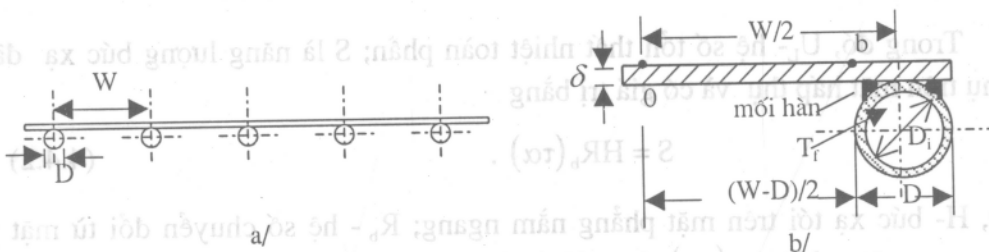
Để tính được hai phương trình (3.3.8) và (3.3.9) ta cần phải biết nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ, cách xác định nhiệt độ trung bình sẽ được đề cập ở phần sau.

§4.4. Tính năng lượng có ích Q_U

Để xác định năng lượng có ích Q_U do chất tải nhận được, như mô tả trong phương trình (4.2.1), chúng ta hãy khảo sát một cách tỉ mỉ diễn biến các quá trình truyền nhiệt xảy ra từ tấm hấp thụ vào chất tải nhiệt chảy trong ống dẫn qua thành ống.

4.4.1. Phân bố nhiệt độ theo phương x (vuông góc với dòng chảy)

1- Thiết lập và giải phương trình cân bằng năng lượng trên trục x



Hình 4.4.1. a- Kết cấu kiểu tấm-ống; b- Liên kết giữa tấm và ống bằng mối hàn.

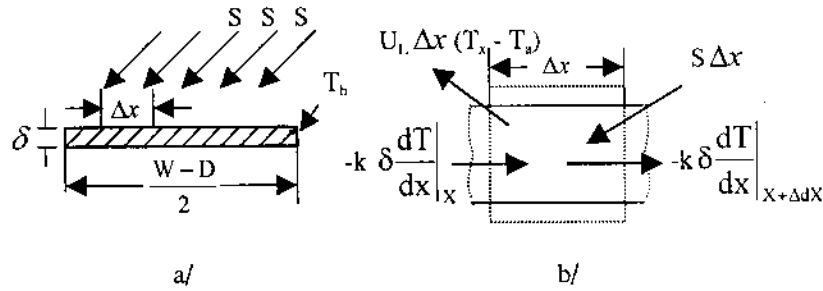
Để thiết lập phương trình ta giả thiết rằng:

a - Sự phân bố nhiệt độ trên tấm hấp thụ không bị ảnh hưởng bởi gradian nhiệt độ theo phương dòng chảy. Dựa trên mô hình kết cấu tấm - ống như được mô tả, trên

(hình 4.4.1a,b). Trong đó W là khoảng cách giữa hai ống; D - đường kính ống; δ - chiều dày tấm hấp thụ, k - hệ số dẫn nhiệt của tấm,

b- Coi vật liệu tấm hấp thụ có độ dẫn nhiệt tốt và có thể bỏ qua gradient nhiệt độ theo chiều dày tấm; nhiệt độ mỗi hàn bằng nhiệt độ của tấm tại điểm sát thành ống T_b .

Từ các giả thiết trên ta có thể thiết lập được phương trình cân bằng năng lượng cho một phần tử Δx trên mặt tấm hấp thụ, có chiều rộng bằng một đơn vị dài như mô tả trên (hình 4.4.2a,b).



Hình 4.4.2. Phương truyền nhiệt từ trung tâm cánh vào ống.

Phương trình cân bằng năng lượng trên mặt hấp thụ có phần tử chiều rộng dx , và chiều ngang bằng một đơn vị dài được biểu diễn bởi phương trình

$$S\Delta x + U_L\Delta x(T_a - T) + \left(-k\delta \frac{dT}{dx}\right)\Big|_x - \left(-k\delta \frac{dT}{dx}\right)\Big|_{x+\Delta x} = 0 \quad (4.4.1)$$

Trong đó, U_L - hệ số tổn thất nhiệt toàn phần; S là năng lượng bức xạ đã được hấp thụ trên mặt hấp thụ và có giá trị bằng

$$S = HR_b(\tau\alpha) \quad (4.4.2)$$

ở đây, H - bức xạ tới trên mặt phẳng nằm ngang; R_b - hệ số chuyển đổi từ mặt phẳng ngang sang mặt nghiêng; $(\tau\alpha)$ - hệ số hấp thụ tích hợp của hệ số truyền qua và hệ số hấp thụ. Sau khi chia (4.4.1) cho Δx và cho $\Delta x \rightarrow 0$ ta được

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{U_L}{k\delta} \left(T - T_a - \frac{S}{U_L}\right) \quad (4.4.3)$$

Nghiệm của phương trình vi phân này phải thoả mãn với điều kiện ban đầu tại điểm đối xứng qua gốc tọa độ ở điểm giữa hai ống và ở nhiệt độ đang xét là

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0 \quad \text{và} \quad T \Big|_{x=(W-D)/2} = T_b \quad (4.4.4)$$

đặt
$$\frac{U_L}{k\delta} = m^2, \text{ và } \Psi = T - T_a - \frac{S}{U_L} \quad (4.4.5)$$

Khi đó (4.4.3) trở thành:

$$\frac{d^2\Psi}{dx^2} - m^2\Psi = 0 \quad (4.4.6)$$

Phương trình (4.4.6) có các điều kiện biên là :

$$\left. \frac{d\Psi}{dx} \right|_{x=0} = 0, \quad \Psi \Big|_{x=\left(\frac{W-D}{2}\right)} = T_b - T_a - \frac{S}{U_L} \quad (4.4.7)$$

Và phương trình có nghiệm tổng quát là:

$$\Psi = C_1 \sinh mx + C_2 \cosh mx \quad (4.4.8)$$

Các hằng số C_1 và C_2 có thể xác định được từ các điều kiện biên. Sau khi kết hợp các phương trình (4.4.6) (4.4.7) và (4.4.8) ta có được biểu thức

$$\frac{T - T_a - S/U_L}{T_b - T_a - S/U_L} = \frac{\cosh mx}{\cosh m\left(\frac{W-D}{2}\right)} \quad (4.4.9)$$

Thông lượng nhiệt truyền từ gốc "0" (trung tâm cánh) đến mép cánh (cạnh ống) trên một đơn vị dài dọc theo dòng chảy, có thể được xác định nhờ phương trình Fourier như biểu thức

$$q_{b,\varphi} = -k\delta \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=(W-D)/2} = \frac{k\delta m}{U_L} [S - U_L(T_b - T_a)] \operatorname{tgh}\left(m \frac{W-D}{2}\right) \quad (4.4.10)$$

Cần chú ý rằng, năng lượng chuyển từ trung tâm cánh về phía ống vừa nhận được theo biểu thức (4.4.10) mới chỉ có một bên. Tất nhiên, phía đối diện cũng có một thông lượng nhiệt như thế chuyển về phía ống. Từ định nghĩa (4.4.5) $\frac{k\delta m}{U_L}$ đúng bằng $\frac{1}{m}$, do đó ta có tổng thông lượng nhiệt gửi đến ống từ hai phía là:

$$q_{b,\varphi} = (W - D) [S - U_L(T_b - T_a)] \frac{\operatorname{tgh}[m.(W-D)]}{m.(W-D)} \cdot 2 \quad (4.4.11)$$

Thừa số cuối cùng trong biểu thức (4.4.11) có ý nghĩa vật lý đóng vai trò hiệu suất truyền dẫn năng lượng từ trung tâm "0" về mép cánh "b", nên được gọi là *hiệu suất cánh* (Fin-efficiency)

$$F = \frac{\tanh [m(W-D)]}{m(W-D)} \quad (4.4.12)$$

Thay (4.4.12) vào biểu thức (4.4.11) ta được

$$q_{b,o} = (W-D) F [S - U_L (T_b - T_a)] \quad (4.4.13)$$

Biểu thức (4.4.11) phù hợp với cánh có tiết diện hình chữ nhật. Đường cong biểu diễn F (hiệu suất cánh) là hàm phụ thuộc vào khoảng cách giữa trung tâm cánh và mép cánh (thành ống) như đã cho thấy trên (hình 4.4.3). Thêm vào đó, phần diện tích của tấm nằm ngay phía trên ống có chiều rộng bằng đường kính ống, cũng nhận trực tiếp năng lượng bức xạ SxD . Do vậy năng lượng tổng cộng tập trung trên diện tích tấm phía trên ống là

$$q_o = D [S - U_L (T_b - T_a)] \quad (4.4.14)$$

Hình 4.4.3 cho thấy hiệu suất cánh F còn phụ thuộc vào $k\delta$, vào giá trị của hệ số tổn thất nhiệt toàn phần U_L , vào đường kính ống và chiều rộng cánh.

Cuối cùng, năng lượng mà tấm hấp thụ có chiều rộng của cánh W, chiều dài bằng một đơn vị nhận được là:

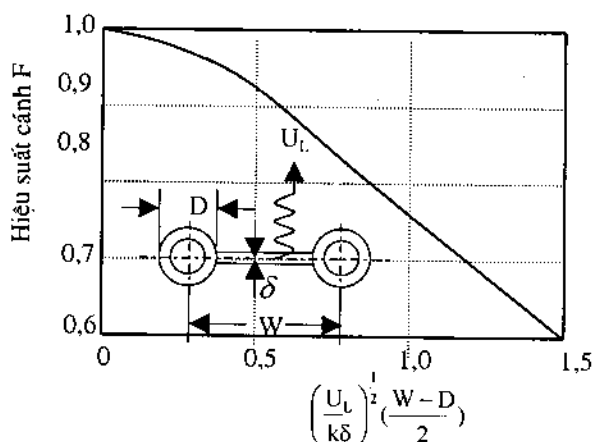
$$q_u = [(W-D) F + D] [S - U_L (T_b - T_a)] \quad (4.4.15)$$

Năng lượng này được dẫn qua thành ống và trao đổi với chất tải nhiệt chảy trong ống.

Từ các biểu thức (3.3.2) và (4.3.1) thì năng lượng mà chất tải nhiệt nhận được từ mặt hấp thụ trên một đơn vị diện tích được biểu diễn bằng biểu thức

$$q_u = \frac{T_b - T_f}{1/(h_{f,i} \pi D_i) + 1/C_b} \quad (4.4.16)$$

trong đó, các số hạng ở mẫu số thể hiện nhiệt trở của thành ống và nhiệt trở của mối hàn; $h_{f,i}$ - hệ số toả nhiệt từ ống vào chất tải nhiệt; D_i - đường kính trong của ống; C_b là hệ



Hình 4.4.3. Đường cong hiệu suất cánh phụ thuộc vào giá trị của $\left(\frac{U_L}{k\delta}\right)^1 \left(\frac{W-D}{2}\right)$.

số dẫn nhiệt của mối hàn, nó có thể được xác định qua hệ số dẫn nhiệt k_b và chiều dày của mối hàn γ , và chiều rộng của mối hàn b bằng biểu thức sau

$$C_b = \frac{k_b \cdot b}{\gamma} \quad (4.4.17)$$

Độ dẫn nhiệt mối hàn đóng một vai trò quan trọng trong bộ thu, nếu hàn không tốt sẽ làm giảm đáng kể hiệu suất của bộ thu. Thực nghiệm chứng tỏ rằng để không làm ảnh hưởng đến hiệu suất của bộ thu thì nhiệt trở mối hàn phải nhỏ hơn $0,03 \text{ m}^2 \text{ C/W}$.

Vì thực tế không thể xác định được nhiệt độ T_b của tấm hấp thụ, nên để thuận tiện cho việc tính toán năng lượng có ích của bộ thu ta phải loại trừ T_b ra khỏi các biểu thức trên, và thay vào đó là nhiệt độ của chất lỏng T_f tại thời điểm đó. Như vậy biểu thức (4.4.16) có thể viết lại bằng

$$q_u = WF [S - U_L (T_f - T_a)] \quad (4.4.18)$$

ở đây, F' được gọi là *hiệu suất hiệu dụng*, nó có giá trị bằng

$$F' = \frac{1 \ U_L}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W - D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{f,i}} \right]} \quad (4.4.19)$$

Để làm rõ ý nghĩa vật lý của đại lượng F' trong biểu thức (4.4.19) ta có nhận xét rằng mẫu số của biểu thức này phải có thứ nguyên là nhiệt trở truyền nhiệt từ chất tải nhiệt ra môi trường không khí. Nhiệt trở này được ký hiệu là $\frac{1}{U_0}$, còn tử số chính là nhiệt trở truyền nhiệt từ tấm hấp thụ ra môi trường không khí. Như vậy F' là tỷ số của hai loại nhiệt trở trên. Hay

$$F' = \frac{U_0}{U_L} \quad (4.4.20)$$

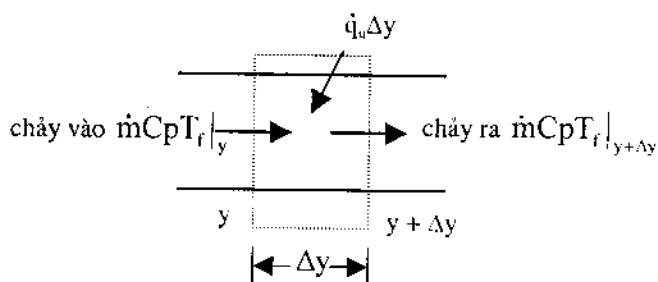
Có một cách giải thích khác đối với F' , từ hệ thức (4.4.18) là tại một vị trí xác định trên mặt hấp thụ, F' chính là tỉ số của năng lượng có ích và năng lượng mà tấm hấp thụ nhận được, khi nhiệt độ tấm hấp thụ tại điểm b là T_b (hình 4.4.1a) có cùng nhiệt độ với chất lỏng, T_f . Nói chung hiệu suất hiệu dụng F' không phụ thuộc vào cách thiết kế bộ thu và tốc độ của dòng chảy của chất lỏng trong ống. Tuy nhiên, theo biểu thức (4.4.19)

thì các tỉ số $\frac{U_L}{C_b}$ và $\frac{U_L}{h_{f,i}}$ vẫn có phụ thuộc ít nhiều vào nhiệt độ.

4.4.2. Phương trình cân bằng năng lượng theo chiều dòng chảy

Ở trên ta đã tính được năng lượng có ích q_u mà chất lỏng tải nhiệt nhận được từ tấm hấp thụ trên một đơn vị dài dọc theo dòng chảy như biểu thức (4.4.18). Tiếp theo ta sẽ tính chất lỏng nhận nhiệt trong suốt chiều dài dọc theo dòng chảy.

Giả sử tại điểm y chất lỏng chảy vào có nhiệt độ $T_{f,i}$ và tại vị trí $y + \Delta y$ nhiệt độ của chất lỏng nhận thêm năng lượng từ tấm hấp thụ nên có nhiệt độ $T_{f,(y+\Delta y)} > T_{f,i}$. Phần khung nét đứt trên (hình 4.4.4).



Hình 4.4.4. Cân bằng năng lượng trong một phần tử thể tích chất lỏng.

Từ hình 4.4.4 ta có thể viết phương trình cân bằng năng lượng cho một phần tử chất lỏng chứa trong ống có chiều dài Δy , và chiều rộng bằng một đơn vị

$$\dot{m}C_p T_f|_y - \dot{m}C_p T_f|_{y+\Delta y} + \Delta y q_u = 0 \quad (4.4.21)$$

Trong đó $\dot{m}$ là lưu lượng của chất tải nhiệt (kg/s). Chia hai vế của phương trình (4.4.21) cho Δy và cho $\Delta y \rightarrow 0$ đồng thời thay q_u từ phương trình (4.4.18) vào (4.4.21) ta nhận được:

$$\dot{m}C_p \frac{dT_f}{dy} - WF[S - U_L(T_f - T_a)] = 0 \quad (4.4.22)$$

Nếu giả thiết rằng F và U_L đều không phụ thuộc vị trí thì nghiệm của phương trình (4.4.22) tại một vị trí bất kỳ với nhiệt độ đầu vào là $T_{f,i}$ sẽ là:

$$\frac{T_f - T_a - S/U_L}{T_{f,i} - T_a - S/U_L} = \exp[-U_L WFy / \dot{m}C_p] \quad (4.4.23)$$

Khi thay $y = L$ là chiều dài của ống thì từ (4.4.23) ta sẽ nhận được nhiệt độ đầu ra của chất lỏng là $T_{f,o}$

4.4.3. Hiệu suất thoát và thừa số lưu thông

Để tính toán định lượng cho bộ thu người ta đưa ra khái niệm *hiệu suất thoát* đó là tỷ số giữa năng lượng mà chất lỏng thật sự nhận được trong quá trình chảy từ đầu đến cuối ống so với năng lượng của tấm hấp thụ nhận được trong cùng một thời gian. Về mặt toán học thì định nghĩa này được mô tả bằng biểu thức

$$F_R = \frac{GC_p (T_{f,0} - T_{f,i})}{[S - U_L (T_{f,i} - T_a)]} \quad (4.4.24)$$

trong đó, G lưu lượng chất lỏng trên một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$). Ta có thể biến đổi biểu thức (4.4.24) dưới một dạng khác để thuận tiện trong việc tính toán sau này như sau

$$F_R = \frac{GC_p}{U_L} \left[\frac{T_{f,0} - T_{f,i}}{S U_L - (T_{f,i} - T_a)} \right] = \frac{GC_p}{U_L} \left[\frac{(T_{f,0} - T_a - S U_L) - (T_{f,i} - T_a - S U_L)}{S U_L - (T_{f,i} - T_a)} \right] \quad (4.4.25)$$

$$\text{hay} \quad F_R = \frac{GC_p}{U_L} \left[1 - \frac{S U_L - (T_{f,0} - T_a)}{S U_L - (T_{f,i} - T_a)} \right] \quad (4.4.26)$$

Sau khi so sánh phương trình này với phương trình (4.4.23) và thay $y = L$ ta nhận được

$$F_R = \frac{GC_p}{U_L} [1 - \exp(-U_L F' / GC_p)] \quad (4.4.27)$$

ở đây, ta đã đặt $W.L = A_w$ là diện tích của cả tấm, và $G = \frac{\dot{m}}{A_w}$ - lưu lượng trên một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian.

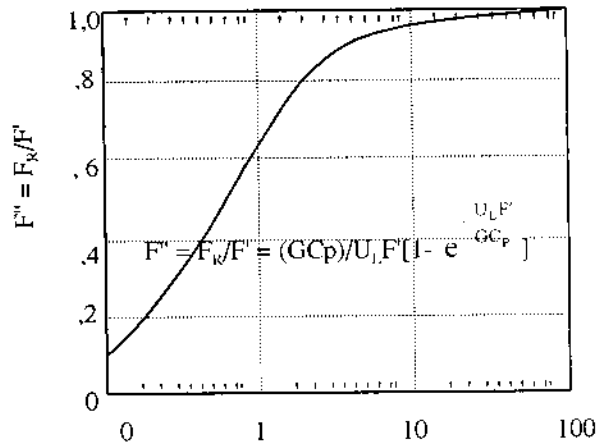
Để biểu diễn phương trình (4.4.27) bằng đồ thị được thuận tiện, người ta đưa thêm một thông số mới để phương trình trên chỉ còn một biến là F' đó là tỷ số của hiệu suất lưu thông và hiệu suất hiệu dụng

$$F' = \frac{F_R}{F'} \quad (4.4.28)$$

và F' được gọi là *thừa số lưu thông* đó là hàm một biến của $U_L F' / GC_p$ (hoặc U' / GC_p). Từ đó ta có được tổng năng lượng có ích mà bộ thu đã nhận được bằng

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_{Li} - T_a)] \quad (4.4.29)$$

Phương trình này cho biết khi nhiệt độ môi trường không đổi thì tổng năng lượng có ích mà bộ thu nhận được chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ ban đầu của chất lỏng, mà ta hoàn toàn có thể xác định được, nên rất thích hợp cho việc tính toán hiệu suất bộ thu. Đường cong biểu diễn sự phụ thuộc của thừa số lưu thông F'' vào $GC_p/U_L F'$ được mô tả trên hình (4.4.5).



Hình 4.4.5. Thừa số lưu thông F'' là hàm của $GC_p/U_L F'$

Từ (4.4.27) ta có nhận xét rằng, khi lưu lượng chất tải nhiệt tăng lên thì nhiệt độ $T_{L,i}$ sẽ giảm và F_R tăng. Do đó F'' cũng tăng, tức là khả năng lưu thông tốt làm cho hiệu suất tăng. Nên nhớ rằng thừa số thoát nhiệt F'' luôn nhỏ hơn hiệu suất hiệu dụng F' .

Từ công thức (4.4.29) ta tính được hiệu suất theo giờ và theo ngày của bộ thu:

- Hiệu suất của bộ thu tính theo giờ :

$$\eta_{\text{giờ}} = \frac{Q_u}{HRA_c} \quad (4.4.30)$$

- Hiệu suất của bộ thu tính theo ngày:

$$\eta_{\text{ngày}} = \frac{\sum Q_u}{A_c \sum HR} \quad (4.4.31)$$

trong đó, A_c - Diện tích bộ thu; H - cường độ tổng xạ trên mặt phẳng nằm ngang; R - hệ số chuyển đổi tổng xạ.

§4.5. Tính nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ

Để đánh giá được hiệu quả làm việc của bộ thu nhất thiết ta phải xác định được tổn thất nhiệt toàn phần U_L . Tuy nhiên, U_L là một hàm phụ thuộc nhiệt độ của tấm hấp thụ như thể hiện trong biểu thức (4.3.9), nhưng nhiệt độ của tấm hấp thụ lại không đồng đều trong toàn bộ diện tích. Thường thì nhiệt độ phía nước chảy vào thấp hơn nhiệt độ phía nước chảy ra, nên để tính chính xác giá trị của tổn thất nhiệt U_L ta phải dùng giá trị nhiệt độ trung bình, bằng cách lấy tích phân phương trình (4.4.23) theo biến thiên nhiệt độ dọc theo dòng chảy từ $y=0$ đến $y=L$.

$$T_{f,m} = \frac{1}{L} \int_0^L T_{f,y} dy \quad (4.5.1)$$

Sau khi thay F_R từ phương trình (4.4.27) vào phương trình (4.4.29) ta tính được giá trị trung bình của chất lỏng. Sau khi thay giá trị này vào phương trình (4.5.1) ta rút ra được nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ

$$T_{f,m} = T_{f,i} + \frac{Q_u A_c}{U_L F_R} \left[1 - \frac{F_R}{F} \right] \quad (4.5.2)$$

Nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ luôn cao hơn nhiệt độ trung bình của chất lỏng tải nhiệt, vì có tổn thất nhiệt khi truyền nhiệt từ tấm hấp thụ vào chất tải nhiệt.

Với chất tải nhiệt là chất lỏng thì sự sai khác nhiệt độ giữa tấm hấp thụ và chất lỏng là khá nhỏ, tuy nhiên với chất tải nhiệt là chất khí thì sự sai khác này là đáng kể. Mặt khác sự sai khác nhiệt độ giữa tấm hấp thụ và chất tải nhiệt còn thay đổi theo chiều dòng chảy nên cũng làm cho giá trị của U_L thay đổi theo. Tuy nhiên, một cách gần đúng ta có thể lấy giá trị sai khác trung bình theo biểu thức sau

$$T_{p,m} - T_{f,m} = Q_u R_{p,f} \quad (4.5.3)$$

trong đó, $T_{p,m}$ và $T_{f,m}$ tương ứng là nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ và chất tải nhiệt; $R_{p,f}$ là nhiệt trở giữa tấm hấp thụ và chất tải nhiệt, chính là nghịch đảo của năng lượng nhiệt truyền qua mặt tiếp xúc giữa ống và chất tải. Trong bộ thu dạng cánh - ống thì nó được tính theo biểu thức sau

$$R_{p,f} = \frac{1}{h_{f,i} \pi D_i n L} \quad (4.5.4)$$

trong đó, n và L - tương ứng số lượng ống và chiều dài ống.

Ví dụ 4.1. Tính nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ. Biết $U_L = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$; $F = 0,897$; $F_R = 0,824$, $q_u = 300 \text{ W/m}^2$; $h_{f,i} = 1450 \text{ W/m}^2\text{°C}$, chiều rộng 1m, chiều dài 2m, khoảng cách giữa các ống $W=0,15\text{m}$, đường kính ống 2cm, nhiệt độ đầu vào 60°C .

Giải:

Từ phương trình (4.5.2) ta có :

$$T_{im} = 60 + \frac{300}{8 \times 0,824} \left[1 - \frac{0,824}{0,897} \right] = 64^\circ\text{C}$$

thay giá trị này vào phương trình (4.5.3), ta được

$$T_{p,m} = 64 + \frac{300 \times 2 \times 1}{1450 \times \pi \times 0,02 \times 2 \times 1 / 0,15} = 64,5^{\circ} \text{C}$$

Dùng giá trị vừa tìm được thay vào phương trình (3.3.10) ta sẽ tìm được U_1 và cùng với (4.3.1) tính được U_L

§ 4. 6 Nhiệt dung hiệu dụng của bộ thu

Trong thực tế các bộ thu làm việc dưới tác động của nhiều yếu tố thường có tính chất không ổn định như: Cường độ bức xạ Mặt Trời, và thời tiết trong ngày (có lúc bị mây che), nhiệt độ môi trường, tốc độ gió, v.v... luôn thay đổi. Vì vậy, năng lượng bức xạ mà bộ thu nhận được có một phần dùng để nung nóng các vật liệu cấu tạo bộ thu, (phần năng lượng Q_s tích lại trong bộ thu, như đã mô tả trong biểu thức (4.2.1)). Giá trị của Q_s phụ vào nhiệt dung riêng của các vật liệu cấu tạo nên bộ thu. Nhiệt dung tích trong một đơn vị khối lượng của bộ thu được gọi là *nhiệt dung hiệu dụng*. Nhờ nhiệt dung hiệu dụng mà khi các yếu tố bên ngoài thay đổi, thì phần nhiệt đã được tích lại trước đó sẽ làm chậm quá trình thay đổi nhiệt độ của tấm hấp thụ. Dưới đây ta sẽ xây dựng biểu thức xác định định lượng của đại lượng này.

Để đơn giản ta xét bộ thu chỉ có một tấm kính phủ, và giả thiết rằng các bộ phận cấu thành của bộ thu như: tấm hấp thụ, vật liệu làm ống dẫn, nước trong ống, đáy cách nhiệt v.v... vào đầu giờ sáng có nhiệt độ ban đầu như nhau, trừ tấm kính phủ có nhiệt độ khác. Như vậy, sự cân bằng năng lượng của bộ thu bao gồm: tấm hấp thụ, nước, ống dẫn và đáy cách nhiệt.

Sau đây lần lượt thiết lập các phương trình cân bằng năng lượng cho từng bộ phận.

- Phương trình cân bằng năng lượng trên tấm hấp thụ

$$(mC)_p \frac{dT_p}{dt} = S + U_1(T_c - T_p) \quad (4.6.1)$$

trong đó, các chỉ số "C" và "P" là các ký hiệu tương ứng với kính và tấm hấp thụ; U_1 là suất tổn thất nhiệt từ tấm hấp thụ lên tấm kính.

- Phương trình cân bằng năng lượng đối với tấm hấp thụ

$$(mC)_c \frac{dT_c}{dt} = U_1(T_p - T_c) + U_2(T_a - T_c) \quad (4.6.2)$$

trong đó, U_1 - suất tổn thất nhiệt từ tấm hấp thụ đến kính;

U_2 - suất tổn thất từ tấm kính ra môi trường ;

T_a là nhiệt độ môi trường;

$(mC)_c, (mC)_p$ - tương ứng năng lượng nhiệt tích trong kính và tấm hấp thụ.

Ta có thể giải được hai vế của phương trình (4.6.2) một cách đồng thời, tuy nhiên cũng có thể đơn giản bằng cách giả thiết rằng tỉ số $(T_c - T_a)/(T_p - T_a)$ luôn không đổi và giữ nguyên như tỉ lệ ban đầu. Nhờ đó mà ta có thể viết hệ thức cân bằng sau

$$U_2(T_c - T_a) = U_1(T_p - T_a) \quad (4.6.3)$$

Ở đây, U_L là suất tổn thất nhiệt toàn phần, $U_L = U_1 U_2 / (U_1 + U_2)$. Khi lấy đạo hàm phương trình (4.6.3) đối với thời gian và cho $T_a = \text{const}$, ta được :

$$\frac{dT_c}{d\tau} = \frac{U_L}{U_2} \frac{dT_p}{d\tau} \quad (4.6.4)$$

Sau khi cộng các phương trình (4.6.1) và (4.6.2), có sử dụng (4.6.4) ta sẽ nhận được phương trình vi phân dưới đây chỉ còn chứa một biến số T_p là nhiệt độ của tấm hấp thụ

$$\left[(mC)_p + \frac{U_L}{U_2} (mC)_c \right] \frac{dT_p}{d\tau} = S - U_L (T_p - T_a) \quad (4.6.5)$$

Số hạng chứa trong ngoặc vuông chính là nhiệt dung hiệu dụng của bộ thu chỉ có một tấm kính. Nếu bộ thu có n tấm kính phủ thì nhiệt dung hiệu dụng của bộ thu được mô tả bằng phương trình sau:

$$(mC)_e = (mC)_p + \sum_{i=1}^n a_i (mC)_{c,i} \quad (4.6.6)$$

ở đây, $a_i = \left(\frac{U_L}{U_2} \right)_i$ tỉ số tổn thất nhiệt toàn phần và tổn thất nhiệt qua tấm đáy thứ i ra môi trường.

Sự đơn giản hoá như đã dẫn ra ở phương trình (4.6.5) rất có ý nghĩa khi giải bài toán xác định nhiệt dung hiệu dụng của bộ thu. Vì nó giúp ta giải phương trình vi phân bậc nhất thay vì phải giải phương trình vi phân bậc $(n+1)$. Sai số gây ra bởi việc đơn giản hoá này khó mà xác định được nếu so với nhiều bài toán vi phân không giải được, nhưng nói chung là sai số không lớn lắm. Khi ta giả thiết cường độ bức xạ gửi đến tấm hấp thụ là S , và nhiệt độ môi trường T_a không đổi trong suốt thời gian $\tau = \text{một giờ}$, thì nghiệm của phương trình (4.6.5) có dạng

$$\frac{S - U_L (T_p - T_a)}{S - U_L (T_{p, \text{ban đầu}} - T_a)} = \exp \left[- \frac{A_c U_L \tau}{(mC)_e} \right] \quad (4.6.7)$$

Nhiệt độ của tấm hấp thụ T_p có thể xác định ở cuối mỗi khoảng thời gian ứng với các thông số S , U_L , T_a . Khi tính nhiệt độ cho cả quá trình ta dùng phương trình ($T_p = T_p + 1$) nghĩa là nhiệt độ của cuối bước trước được dùng làm nhiệt độ đầu vào của bước tiếp theo. Dùng phép tính lặp đối với phương trình (4.6.7) ứng với mỗi bước thời gian bằng một giờ, ta sẽ nhận được nhiệt độ của tấm hấp thụ là một hàm phụ thuộc thời gian.

Sau khi biết được nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ ta tính được năng lượng có ích Q_u của bộ thu. Tuy nhiên, trong thực tế năng lượng này nhỏ hơn năng lượng mà bộ thu đã nhận được, vì một phần năng lượng đã được tích lại trong bộ thu qua nhiệt dung hiệu dụng của nó. Mặt khác, năng lượng này cũng có thể được xác định bằng tích của nhiệt dung hiệu dụng của bộ thu và độ chênh lệch nhiệt độ giữa nhiệt độ trung bình của bộ thu, lúc ban đầu với nhiệt độ trung bình tại thời điểm tính, hoặc chênh lệch nhiệt độ giữa đầu giờ buổi sáng và nhiệt độ trung bình vào cuối giờ chiều. Tuy nhiên, sự tổn thất do nhiệt dung hiệu dụng nhỏ hơn rất nhiều so với sự chiếu sáng không liên tục do bị mây che, hoặc do gió thổi mạnh v.v..., nên trong tính toán cho bộ thu phẳng tổn thất này thường được bỏ qua.

Bài tập ứng dụng: Tính hiệu suất bộ đun nước nóng bằng năng lượng Mặt Trời với các dữ kiện sau:

Diện tích mặt hứng nắng bằng 2m^2 , lúc 10h30 ngày 20 tháng 8, vĩ độ nơi đặt bộ thu $\varphi = 20^\circ\text{N}$; kết cấu dạng cánh - ống, đặt nghiêng một góc $\beta = 30^\circ$; chiều dày tấm hấp thụ $\delta = 0,5\text{mm}$; hệ số dẫn nhiệt của tấm hấp thụ $k_1 = 210\text{W}/(\text{mK})$; hệ số phát xạ của tấm hấp thụ $\varepsilon_p = 0,5$; hệ số phát xạ của tấm kính $\varepsilon_k = 0,9$; cường độ bức xạ trên mặt phẳng nằm ngang $H = 510\text{ W}/\text{m}^2$; hệ số hấp thụ của tấm hấp thụ $\alpha = 0,94$; chiều dày tấm kính $l_1 = 4\text{mm}$; độ suy giảm của tấm kính $k_2 = 0,32\text{cm}^{-1}$; vận tốc gió trên mặt kính $v = 2\text{m/s}$; số lượng tấm kính $N = 1$; hệ số trao đổi nhiệt giữa tấm hấp thụ và nước trong ống dẫn $h_{12} = 1.54\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$; tổn thất nhiệt toàn phần giả thiết $U_L = 5,5\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$; độ dẫn nhiệt của mối hàn $C_b = \infty$; nhiệt độ đầu vào của nước $T_{i1} = 32^\circ\text{C}$; nhiệt độ môi trường $T_a = 25^\circ\text{C}$; chiều rộng của cánh $W = 20\text{cm}$; đường kính ngoài của ống $D = 2\text{cm}$; đường kính trong của ống $D_i = 1,8\text{cm}$; lưu lượng của nước $G = 0,01\text{kg}/(\text{m}^2\text{s})$; nhiệt dung riêng đẳng áp của nước $C_p = 4,18\text{kJ/kg}$; chiều dày của lớp đáy cách nhiệt $l_2 = 5\text{cm}$; hệ số dẫn nhiệt của chất cách nhiệt $k_3 = 0,048\text{W}/(\text{mK})$.

Bài giải

1/- Tính hệ số chuyển đổi R_b từ mặt nằm ngang sang mặt phẳng nghiêng (để đơn giản ta chỉ tính cho thành phần trực xạ), từ công thức (1.5.13)

$$R_b = \frac{H \cos \theta_T}{H \cos \theta_Z} = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta}$$

- Từ số liệu cho của đề bài tính góc lệch Mặt Trời của ngày 20/8 (n=232) theo công thức (1.4.7), ta tính được $\delta = 12,1^{\circ}$; ; góc giờ của Mặt Trời ω được tính theo công thức (1.5.1).

$$\omega = (12-t)15^{\circ} = (12 - 10,5) = 22,5^{\circ}$$

Từ các kết quả vừa tìm được cùng với $\varphi = 20^{\circ}$, $\beta = 30^{\circ}$ ta tính được $\cos \theta_T$ và $\cos \theta_Z$

$$\cos \theta_T = \cos(20-30)\cos(12,1)\cos(22,5) + \sin(20-30)\sin(12,1) = 0,85323$$

$$\cos \theta_Z = \cos(43)\cos(-21,269)\cos(22,5) + \sin(43)\sin(-21,269) = 0,92057$$

Thay các giá trị vừa tìm được vào (1.5.13) ta nhận được $R_p = 0,9268$

2/- Tính các góc tương tác giữa tia bức xạ và kính

- Góc tới trên mặt phẳng nghiêng: từ kết quả đã tính ở trên ta có

$$\cos \theta_T = 0,8532 \Rightarrow \theta_T = \arccos(0,85323) = 31,43^{\circ}$$

- Góc khúc xạ khi tia bức xạ đi qua hai môi trường không khí và kính, theo công thức (2.1.4).

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \Rightarrow \theta_2 = \arcsin\left(\frac{\sin \theta_T}{n_{\text{thủy tinh}}}\right) = \arcsin\left(\frac{\sin 31,43}{1,526}\right) = 19,98^{\circ}$$

- Góc phản xạ, tính theo công thức (2.1.3)

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

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{\sin^2(19,98 - 31,43)}{\sin^2(19,98 + 31,43)} + \frac{\text{tg}^2(19,98 - 31,43)}{\text{tg}^2(19,98 + 31,43)} \right] = \frac{1}{2} [0,0645 + 0,0261] = 0,0453$$

- Góc truyền qua (phụ thuộc phương của góc tới), theo công thức (2.1.7)

$$\tau_r = \frac{1}{2} \left[\frac{1 - \rho_v}{1 + \rho_v} + \frac{1 - \rho_s}{1 + \rho_s} \right] = \frac{1}{2} \left[\frac{1 - 0,0645}{1 + 0,0645} - \frac{1 - 0,0261}{1 + 0,0261} \right]$$

$$= \frac{1}{2} [0,8788 + 0,9491] = 0,91395$$

- Hệ số truyền qua suy giảm (có kể đến hấp thụ), dùng công thức (2.1.10)

$$\tau_a = e^{-k_2 l_1 / \cos \theta_2} = e^{-0,32.0,4 / \cos 19,98} = 0,8727$$

- Hệ số truyền qua toàn phần, theo công thức (2.1.11)

$$\tau = \tau_r \tau_\alpha = 0,91395 \times 0,8727 = 0,7976$$

- Hệ số hấp thụ tích hợp hấp thụ truyền qua tính theo công thức (2.1.12)

$$(\tau\alpha) = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} = \frac{0,7976 \times 0,94}{1 - (1 - 0,94)0,0453} = 0,7518$$

3/- Tính năng lượng bức xạ tới mặt hấp thụ, theo công thức (4.4.2)

$$S = HR_b(\tau\alpha) = 510 \times 0,92685 \times 0,7518 = 355,37 \text{ W/m}^2$$

4/- Tính các thông số hiệu suất

- Hiệu suất cánh, theo công thức (4.4.12)

$$F = \frac{\frac{\tanh\left[\frac{m(W-D)}{2}\right]}{m(W-D)}}{2} \quad (1)$$

trong đó m, tính theo công thức (4.4.5) $m = \sqrt{\frac{U_L}{k, \delta}} = \sqrt{\frac{5,5}{210 \times 0,5 \cdot 10^{-3}}} = 7,2375$

Thay giá trị vừa tính được vào (1)

$$F = \frac{\frac{\tanh\left[7,2375 \frac{(20-2) \cdot 10^{-2}}{2}\right]}{7,2375 \frac{(20-2) \cdot 10^{-2}}{2}}}{2} = 0,8791$$

- Tính hiệu suất hiệu dụng, theo công thức (4.4.19)

$$\begin{aligned} F' &= \frac{\frac{1}{U_L}}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W-D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{\text{Dinh},j}} \right]} = \\ &= \frac{\frac{1}{5,5}}{0,2 \left[\frac{1}{5,5 [0,02 + (0,2 - 0,02)0,8791]} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{\pi \times 0,018 \times 1540} \right]} = 0,8813 \end{aligned}$$

- Hiệu suất lưu thông, theo công thức (4.4.27)

$$F_R = \frac{GC_p}{U_i} [1 - \exp(-\frac{U_L F'}{GC_p})] = \frac{0,01 \times 4,18 \cdot 10^3}{5,5} [1 - \exp(-\frac{5,5 \times 0,8813}{0,01 \times 4,18 \cdot 10^3})] = 0,8321$$

4/- Tính năng lượng có ích, theo công thức (4.4.29)

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_{f,i} - T_a)] = 2 \times 0,8321 [355,37 - 5,5(32 - 250)] = 527,3359 W$$

5/- Tính hiệu suất giờ, theo công thức (4.4.30)

$$\eta_{gio} = \frac{Q_u}{HR_b A_c} = \frac{527,335}{510 \times 0,92685 \times 2} = 0,5578$$

6/- Tính nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ, theo công thức (4.5.3)

$$T_{p,m} = T_{f,m} + Q_u R_{p,i} \quad (2)$$

Để tính nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ trước hết ta tính:

- Nhiệt độ trung bình của chất lỏng, theo công thức (4.5.2)

$$T_{f,m} = T_{f,i} + \frac{Q_u / A_c}{U_L F_R} [1 - \frac{F_R}{F'}] = 32 + \frac{527,335}{2 \times 5,5 \times 0,8321} [1 - \frac{0,8321}{0,8813}] = 35,216^\circ C$$

- Nhiệt trở qua thành ống, theo công thức (4.5.4)

$$R_{p,i} = \frac{1}{h_{f,i} \pi D_i n L} = \frac{1}{1540 \times \pi \times 0,018 \times \frac{1}{0,2} \times 2} = 0,0011483$$

Nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ, thay các giá trị vừa tính vào (2), ta có

$$T_{p,m} = 35,216 + 527,335 \times 0,0011483 = 35,82^\circ$$

Theo đầu bài tổn thất nhiệt toàn phần là theo giả thiết nên ta cần phải kiểm tra lại xem tổn thất nhiệt toàn phần thực tế có trùng với giả thiết hay không. Nếu trùng thì bài toán coi như đã được giải xong với các kết quả:

$$Q_u = 327,335 W; \text{ hiệu suất giờ } \eta = 55,78 \%$$

Nếu giá trị tổn thất nhiệt U_L tính theo các kết quả vừa tìm được không trùng với giả thiết, thì phải dùng giá trị vừa tính được thay cho giá trị giả thiết (cho trong đề bài) để tính lại từ đầu. Tức là phải dùng phương pháp lặp để tìm ra kết quả gần đúng nhất với giá trị sai số cho trước. Ví dụ, trong bài toán này giá trị tìm được có sai số tương đối của tổn thất nhiệt không quá 2%. Có nghĩa là sai số của giá trị tính cuối cùng so với giá trị của bước tính trước đó phải thỏa mãn $\frac{\Delta U_L}{U_L} < 0,02$.

* Các bước xác định sai số tương đối $\Delta I_i / I_i$ được tiến hành như sau:

Tính giá trị tổn thất nhiệt toàn phần $U_L = U_b + U_i$ theo các công thức (4.3.1) và (4.3.9)

- Theo công thức (4.3.1) thì tổn thất qua mặt đáy là

$$U_b = \frac{k_s}{l_2} = \frac{0,048}{0,05} = 0,96 \text{ (W / m}^2 \text{ K)}$$

- Theo công thức (4.3.9) tổn thất nhiệt qua mặt trên là

$$U_i = \left[\frac{n}{(344 / T_p) [(T_p - T) / (n + f)]^{0,31}} + \frac{1}{h_w} \right]^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{[\varepsilon_p + 0,0425n(1 - \varepsilon_p)]^{-1} + [(2n + f - 1) / \varepsilon_k] - n} \quad (4.3.9)$$

trong đó, n - số tấm kính;

$$f = (1,0 - 0,04h_w + 5,0 \cdot 10^{-4}h_w^2)(1 + 0,058n); \quad (3)$$

ε_k - hệ số phát xạ của kính = 0,88;

ε_p - hệ số phát xạ của tấm hấp thụ;

T_a, T_p - tương ứng nhiệt độ môi trường và nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ;

h_w - hệ số trao đổi nhiệt với gió, phương trình (3.2.8).

Trong công thức (4.3.9) có chứa thừa số hiệu chỉnh f và h_w , do đó ta cần phải tính các thừa số này theo dữ kiện của đầu bài.

Theo công thức (3.2.8) thì hệ số trao đổi nhiệt với gió có giá trị

$$h_w = 5,7 + 3,8v = 5,7 + 3,8 \times 2 = 13,3 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Thay giá trị này vào (3) ta tính được

$$f = [1,0 - 0,04 \times 13,3 + 5,0 \cdot 10^{-4} \times (13,3)^2](1 + 0,058 \times 1) = 0,5887$$

Thay các giá trị từ kết quả tính toán ở trên vào công thức (4.3.9) ta nhận được

$$U_i = 4,2995 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$$

Từ đó ta nhận được

$$U_L = U_b + U_i = 0,96 + 4,2995 = 5,2595 \text{ (W/m}^2 \text{ K)}$$

- Sai số tương đối của kết quả vừa nhận được so với giả thiết

$$\frac{\Delta U_L}{U_L} = \frac{5,5 - 5,295}{5,5} = 0,04373$$

Giá trị này lớn hơn 2%, không thoả mãn với điều kiện cho trước nên phải tính lại từ phần các hiệu suất bộ thu như đã làm ở bước 4/- trước đây với $U_L = 5,2595$ (W/m²K).

Các kết quả tính toán lại như sau: $m = 7,0775$; $F = 0,8836$; $F' = 0,88566$; $F_R = 0,8381$; $Q_u = 533,9594$ (W); Hiệu suất giờ $\eta = 56,48\%$; nhiệt độ trung bình của chất lỏng $T_{lm} = 35,25^\circ\text{C}$; nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ $T_{p,m} = 35,866^\circ\text{C}$; Tổn thất nhiệt qua mặt trên $U_1 = 4,3019$ (W/m²K); tổn thất nhiệt toàn phần $U_L = 5,2619$ (W/m²K); Sai số tương đối giữa lần cuối và lần liền kề trước

$$\frac{\Delta U_L}{U_L} = \frac{5,2596 - 5,2619}{5,2596} \times 100 = 0,04373$$

Giá trị này nhỏ hơn 2% nên đã thoả mãn được yêu cầu đã cho.

Vậy lấy kết quả cuối cùng của bài toán:

$U_L = 5,262$ (W/m²K); $Q_u = 5,3396$ (W); hiệu suất nhiệt của bộ thu $\eta_{gio} = 56,48\%$

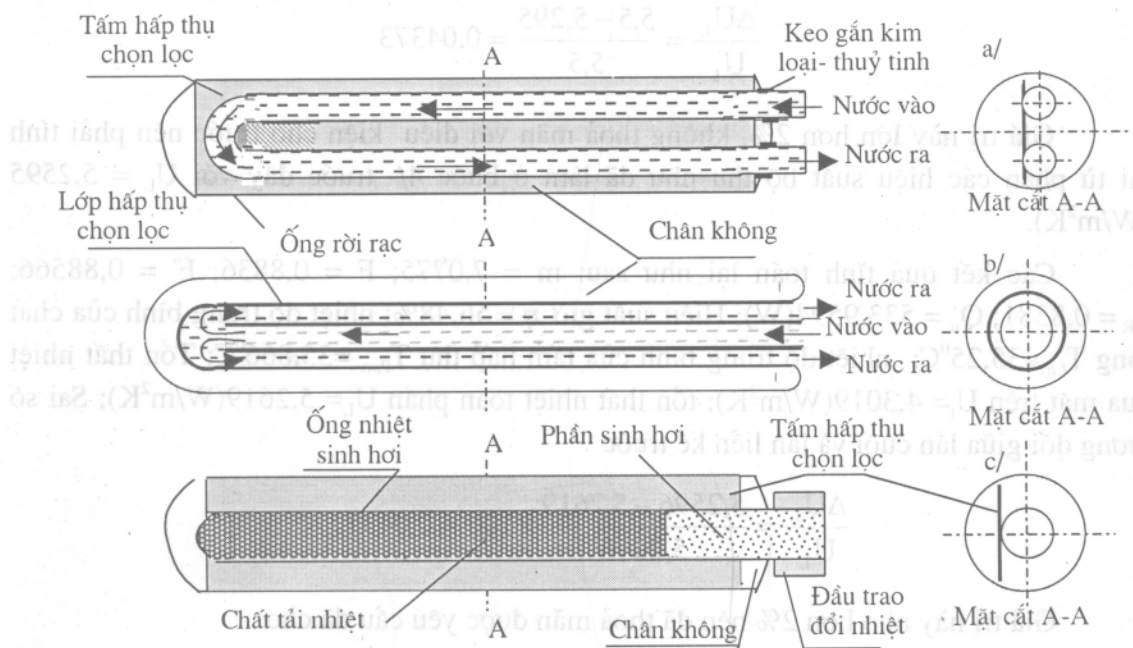
S4.7. Một vài thiết bị đun nước nóng có kết cấu khác

Trong những năm gần đây các nhà thiết kế đã đưa ra nhiều dạng thiết bị đun nước nóng có kết cấu khác với dạng cổ truyền, nhằm nâng cao hiệu suất và giảm giá thành, hoặc tăng nhiệt độ vận hành và giảm trọng lượng của bộ thu. Dưới đây sẽ mô tả một số kết cấu thuộc dạng này.

4.7.1. Môđun ống rời rạc

Muốn cải tiến hiệu suất của bộ thu là cần phải làm giảm hoặc triệt tiêu hoàn toàn tổn thất nhiệt bằng đối lưu từ mặt trên. Một số kết cấu dạng *môđun ống rời rạc* được mô tả trên hình 4.7.1. là thể hiện một trong các hướng này.

Môđun ống rời rạc (hình 4.7.1a). gồm một ống thuỷ tinh hình trụ đã hút chân không, có đường kính 6-7cm, dài 1,5 - 2m, kín hai đầu để chịu được chênh lệch áp suất giữa bên trong và áp suất khí quyển. Bên trong được đặt một tấm hấp thụ chọn lọc bằng kim loại, trên tấm hấp thụ người ta hàn một ống kim loại hình chữ U bằng đồng hoặc nhôm, có đường kính 1,5 - 2cm, một đầu để tự do, đầu còn lại được gắn cố định với ống thuỷ tinh bằng lớp đệm kim loại có độ dẫn nhiệt bằng độ dẫn nhiệt của thuỷ tinh, để chống nứt do biến dạng nhiệt. Mặt ngoài của ống kim loại cũng được phủ lớp hấp thụ chọn lọc.

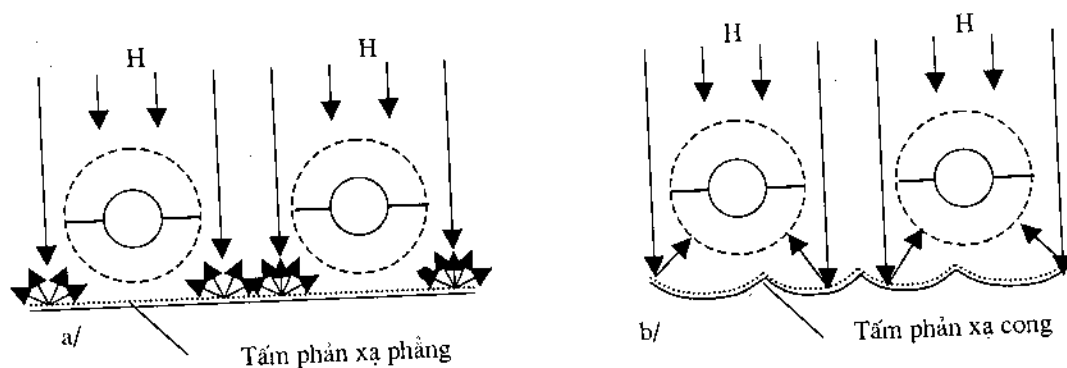


Hình 4.7.1. Các kiểu ống rời rạc:
a/ ống chữ U; b/ ống đồng trục; c/ ống nhiệt.

Loại kết cấu thứ hai, là dùng ống thủy tinh hình trụ hai lớp vỏ (giống như ruột phích nước nóng). Mặt ngoài của lớp vỏ trong được phủ lớp hấp thụ chọn lọc. Khoảng trống giữa hai lớp vỏ cũng được hút chân không. Một ống kim loại dẫn chất tải nhiệt được đặt đồng trục với ống thủy tinh. Cho nước vào một đầu và chảy ra trong khoảng không gian giữa ống giữa và ống kim loại, (hình 4.7.1b).

Loại kết cấu thứ ba được gọi là *ống nhiệt* (hình 4.7.1c) Người ta thay ống kim loại hình chữ U (hình 4.7.1a) bằng một ống thẳng, hai đầu bịt kín và cũng được phủ một lớp hấp thụ và được hàn trên tấm hấp thụ. Trong ống đựng chất lỏng tải nhiệt nhưng vẫn còn để lại một khoảng trống dành chỗ cho chất tải nhiệt bốc hơi. Khi nhận nhiệt từ tấm hấp thụ chất tải nhiệt bốc hơi và ngưng tụ ở một đầu còn trống.

Bên ngoài đầu ống này được bọc một vành kim loại, thường là nhôm hoặc đồng, đóng vai trò của một thiết bị trao đổi nhiệt. Vành kim loại được nhúng ngập trong dòng nước lạnh chảy qua và trao đổi nhiệt làm cho nước nóng lên. Thường mỗi môđun được ghép bởi hai ống nhiệt đặt cách nhau vài cen-ti-mét, phía đáy của mỗi môđun người ta đặt thêm một tấm phản xạ để tạo ra nguồn bức xạ phản xạ đập vào mặt dưới của tấm hấp thụ, nhằm tăng thêm cường độ bức xạ cho tấm hấp thụ hình 4.7.2. Nhờ đó mà tấm hấp thụ nhận được bức xạ từ cả hai phía: mặt trên nhận bức xạ trực tiếp gồm các tia trực xạ, tán xạ và khuếch tán, còn mặt dưới thì nhận các tia phản xạ và khuếch tán.



Hình 4.7.2. Các loại mặt phản xạ dùng trong:
a- môđun ống rời rạc; b- môđun ống nhiệt.

Dạng thương phẩm của các bộ thu loại này thường có kích thước đạt đến 2m². Số ống nhiệt trong mỗi bộ thu từ 10 đến 12 ống, phụ thuộc vào điều kiện bức xạ tại mỗi địa phương mà đặt mau hay thưa. Hiệu suất của loại này cao một cách đáng kể so với loại thu phẳng, nhờ được sử dụng chất hấp thụ chọn lọc, và tổn thất nhiệt lên phía trên giảm nhờ ống chân không triệt tiêu được hiện tượng đối lưu. Nhiệt độ tại phần trao đổi nhiệt đạt tới từ 100 - 130°C. Trên cơ sở thực nghiệm người ta đã xác định được công thức tính hiệu suất như sau

$$\eta_i = 0,527 - 1,736(T_{ti} - T_a)/HR_b \quad (4.7.1)$$

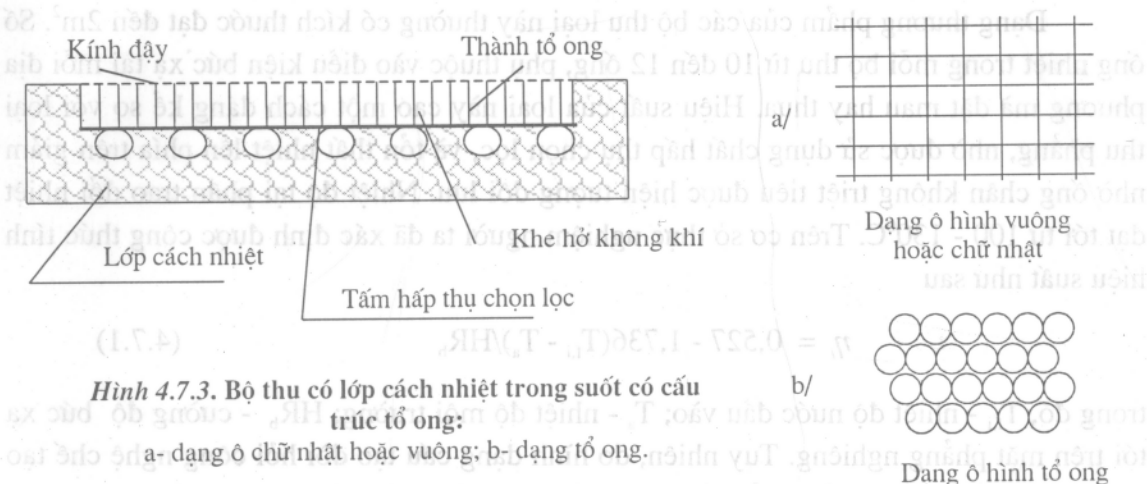
trong đó, T_{ti} - nhiệt độ nước đầu vào; T_a - nhiệt độ môi trường; HR_b - cường độ bức xạ tới trên mặt phẳng nghiêng. Tuy nhiên, do hình dạng cấu tạo đòi hỏi công nghệ chế tạo phức tạp nên giá thành sản phẩm còn cao, nên chưa được ứng dụng rộng rãi.

4.7.2. Bộ thu có mặt cách nhiệt trong suốt dạng tổ ong

Khi làm việc ở nhiệt độ cao khoảng 100°C hiệu suất các bộ thu dạng tấm phẳng cổ truyền thường đạt thấp, bởi vì ở nhiệt độ này tổn thất nhiệt qua mặt trên rất lớn. Tổn thất này có thể giảm được bằng cách đặt vào giữa tấm hấp thụ và tấm kính dày một lớp vật liệu cách nhiệt "trong suốt" đối với bức xạ Mặt Trời, có cấu tạo dạng tổ ong như mô tả trên hình 4.7.3

Tấm cách nhiệt cấu trúc dạng tổ ong được làm bằng kính hoặc bằng các loại chất dẻo trong suốt như polymethyl-methacrylat; polycarbonat hay polythylen. Tấm được chia thành nhiều ngăn hình chữ nhật, hình vuông hoặc ống hình trụ, khoảng cách giữa các vách ngăn hoặc thành ống 3-4mm, chiều dày của thành 0,1mm đối với kính, và 0,02mm với các loại chất dẻo. Chiều cao tấm khoảng 10cm, khe hở giữa tấm tổ ong và tấm hấp thụ 1-2cm. Thực nghiệm cho thấy, kết cấu tổ ong đã làm giảm một cách đáng kể tổn thất nhiệt lên phía trên, nhờ triệt tiêu được hầu hết khả năng đối lưu và tái bức xạ

từ tấm hấp thụ. Số liệu thực nghiệm của Rommel và Wittwer(1987) cho thấy nếu tấm cách nhiệt được làm bằng polycarbonat, tiết diện hình chữ nhật $3 \times 4\text{mm}$ thì hệ số tổn thất nhiệt lên phía trên chỉ còn $0,9\text{W/m}^2/\text{K}$; hệ số tổn thất nhiệt toàn phần $1,7\text{W/m}^2/\text{K}$. Kết quả trên cũng khẳng định khả năng truyền qua đối với cấu trúc dạng tổ ong bằng chất dẻo là rất tốt. Khả năng truyền qua tốt khác thường này được lý giải là nhờ tạo nên nhiều thành ống "trong suốt" đối với bức xạ Mặt Trời nên đã tạo ra các tia phản xạ và khúc xạ thứ cấp, và chúng đều hướng tới mặt hấp thụ. Kết quả đo đạc của hai tác giả trên cũng cho biết hệ số hấp thụ tích hợp hấp thụ truyền qua $(\tau\alpha) = 0,76$ khi tia tới trùng với phương pháp tuyến của mặt hấp thụ. Giá trị này tương đương với kiểu ống rời rạc, nhưng công nghệ chế tạo lại không quá phức tạp. Nên bộ thu có kết cấu dạng tổ ong có thể được lựa chọn để thay thế cho kiểu ống rời rạc vì nó vừa cho nhiệt độ cao, vừa có tính kinh tế cao.



Hình 4.7.3. Bộ thu có lớp cách nhiệt trong suốt có cấu trúc tổ ong:

a- dạng ô chữ nhật hoặc vuông; b- dạng tổ ong.

Mặc dù khi dùng loại vật liệu polycarbonat đã cải thiện một cách đáng kể hiệu suất của bộ thu ở nhiệt độ cao nhưng chưa thể trở thành thương phẩm được, vì loại vật liệu này không chịu được nhiệt độ cao. (Điểm nóng chảy của polycarbonat $T_c=120^\circ\text{C}$). Muốn cho bộ thu làm việc được ở nhiệt độ cao trên 140°C hai tác giả trên đề nghị nên dùng các tấm ngăn bằng thủy tinh trong các bộ thu có chất tải nhiệt làm việc trong khoảng nhiệt độ từ 105°C đến 180°C . Thực nghiệm cũng cho thấy nhiệt độ nhận được trên tấm hấp thụ đạt tới 261°C khi cường độ bức xạ tới trên mặt phẳng nghiêng $\text{HR}_b = 999\text{W/m}^2$, và nhiệt độ môi trường $T_a=24,3^\circ\text{C}$. Tuy nhiên, hiệu suất của bộ thu tấm tổ ong làm bằng thủy tinh thấp hơn một ít so với tấm tổ ong làm bằng vật liệu polycarbonat.

Câu hỏi và bài tập chương 4

Câu hỏi

1. Định nghĩa bộ thu phẳng và nêu những ứng dụng bộ thu phẳng trong công nghệ nhiệt Mặt Trời.
2. Năng lượng bức xạ Mặt Trời gửi tới bộ thu phẳng được thể hiện dưới dạng những dạng năng lượng nào. Tại sao gọi Q_u lại nhỏ hơn năng lượng bức xạ gửi tới bộ thu ?
3. Dựa theo mô hình *cánh-ống* thiết lập biểu thức quá trình truyền nhiệt theo phương vuông góc với dòng chảy từ tấm hấp thụ vào chất lỏng tải nhiệt chảy trong ống. Viết công thức định nghĩa và nêu ý nghĩa của hiệu suất cánh và hiệu suất hiệu dụng?
4. Cũng với câu hỏi trên nhưng thiết lập phương trình truyền nhiệt theo phương dòng chảy. Viết công thức định nghĩa và nói ý nghĩa của hiệu suất lưu thông?
5. Trong một bộ thu phẳng hệ số tổn thất nhiệt toàn phần bao gồm những loại tổn thất nào?. Viết phương trình mô tả các tổn thất thành phần và nhận biết tất cả các đại lượng chứa trong các công thức cả về tên gọi và đơn vị đo của chúng.

Bài tập

1. Tính hiệu suất biên (cánh) F của bộ thu dạng cánh- ống? Với các thông số sau: Độ dẫn nhiệt của tấm hấp thụ $k=210\text{W/m}\cdot\text{độ}$; chiều dày của tấm: $\delta = 0,3\text{mm}$; suất tổn thất nhiệt toàn phần: $U_L=5,05\text{W/m}^2\text{K}$; đường kính ống: $D=1,5\text{cm}$; khoảng cách giữa các ống $W=15\text{cm}$.
2. Xác định hiệu suất hiệu dụng F' của bộ thu cánh - ống?. Biết khoảng cách giữa các ống $W=15\text{cm}$, tổn thất nhiệt toàn phần $U_L=7,05\text{W/m}^2\cdot\text{K}$, đường kính ngoài và trong của ống tương ứng $D_o = 0,15\text{cm}$ và $D_i = 0,13\text{cm}$, hiệu suất cánh $F= 0,933$, hệ số truyền nhiệt giữa ống và chất tải nhiệt $h_{ci}=1.450\text{W/m}^2\text{K}$, bỏ qua nhiệt trở của mối hàn.
3. Tính thừa số thoát nhiệt F_R trong bộ thu?. Biết cường độ bức xạ tới trên mặt phẳng nghiêng $HR_b=735\text{W/m}^2$, hệ số hấp thụ hiệu dụng $(\tau\alpha) = 0,67$, nhiệt độ nước đầu vào $T_{ci}= 45^\circ\text{C}$, nhiệt độ nước đầu ra $T_{co}= 47^\circ\text{C}$, nhiệt độ môi trường $T_a = 25^\circ\text{C}$, tổn thất nhiệt toàn phần $U_L= 7,8\text{W/m}^2\text{K}$, lưu lượng nước chảy trong ống $G = 0,022\text{kg/s}$, nhiệt dung đẳng áp của nước $C_p = 4,187\text{kJ/kg}$, diện tích bộ thu 2m^2 .

4. Tính thừa số thoát nhiệt F_R của một bộ thu?. Biết lưu lượng chất lỏng trên một đơn vị diện tích $G=0,011\text{kg/s/m}^2$; suất tổn thất nhiệt toàn phần $U_L=7,4\text{W/m}^2\cdot\text{K}$; nhiệt dung riêng của chất lỏng $C_p=4,187\text{kJ/kg}$; hệ số truyền nhiệt từ thành ống vào chất lỏng $h_{L,0}=1.450\text{W/m}^2$, đường kính ngoài và trong của ống tương ứng $D=1,5\text{cm}$, và $D_i=1,3\text{cm}$, hiệu suất cánh $F=0,903$; khoảng cách giữa các ống $W=15\text{cm}$, bỏ qua nhiệt trở mối hàn.
5. Tính hiệu suất tức thời của bộ thu chiều rộng 1m , chiều dài 2m ?. Biết tại thời điểm quan sát nhiệt độ đầu vào của chất lỏng 37°C , nhiệt độ môi trường 25°C ; Cường độ bức xạ gửi tới mặt phẳng nằm ngang $H=670\text{W/m}^2$, Hệ số chuyển đổi từ mặt phẳng nằm ngang sang mặt phẳng nghiêng $R_b=1,18$; hệ số hấp thụ hiệu dụng $(\tau\alpha)=0,75$; lưu lượng chất lỏng chảy trong ống $G=0,012\text{kg/m}^2/\text{s}$, nhiệt dung riêng của chất lỏng $C_p=4,18\text{kJ/kg}$; tổn thất nhiệt toàn phần $U_L=7,5\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$; thừa số hiệu dụng $F'=0,87$.

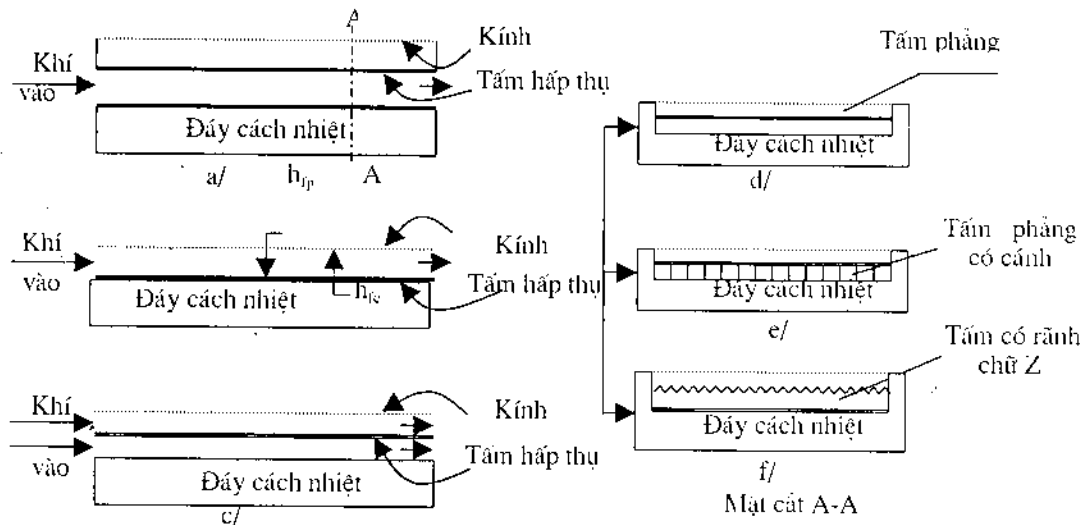
Chương 5

BỘ THU NUNG NÓNG KHÔNG KHÍ

Ở các chương trước chúng ta đã khảo sát bộ thu phẳng dùng đun nước nóng bằng năng lượng Mặt Trời. Trong chương này ta sẽ khảo sát một ứng dụng khác của bức xạ Mặt Trời, đó là bộ thu phẳng nung nóng không khí, để cung cấp khí nóng cho các lò sấy công nghiệp hoặc sưởi ấm phòng sinh hoạt của nhà ở. Trong quá trình phân tích và tính toán ta cũng áp dụng phương pháp như đã làm đối với bộ thu phẳng đun nước nóng.

§5.1. Kết cấu bộ thu phẳng nung nóng không khí

Bộ thu phẳng nung nóng không khí sau đây được gọi tắt là *bộ nung nóng không khí*. Nguyên lý cơ bản cấu tạo bộ nung nóng không khí gồm tấm kính đáy, tấm hấp thụ, kênh dẫn khí và đáy cách nhiệt như mô tả trên hình 5.1.1



Hình 5.1.1. Cấu tạo bộ nung không khí có kênh dẫn:
 a- nằm giữa tấm hấp thụ và đáy cách nhiệt; b- nằm giữa kính và tấm hấp thụ;
 c- nằm hai bên tấm hấp thụ; d,e,f/- hình dạng và cấu tạo tấm hấp thụ.

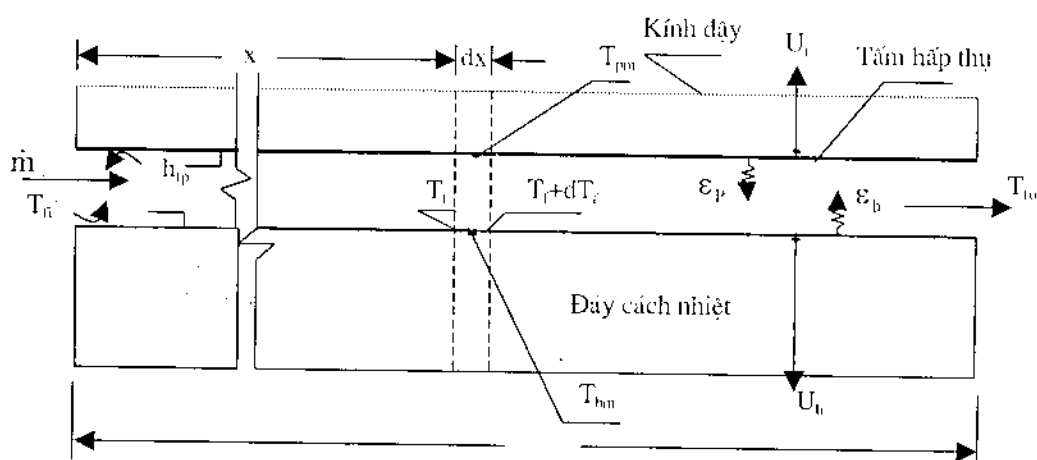
Kênh dẫn có thể bố trí theo nhiều cách khác nhau như: nằm giữa tấm hấp thụ và đáy cách nhiệt (hình 5.1.1a), nằm giữa kính và tấm hấp thụ đặt sát đáy (hình 5.1.1b), hoặc tấm hấp thụ chia đôi khoảng cách giữa kính và đáy tạo ra hai kênh dẫn song song (hình 5.1.1c). Tấm hấp thụ cũng có thể có các dạng khác nhau: phẳng, có cánh, hoặc

rãnh dạng chữ Z như mô tả trên hình 5.1.1. e,d,f nhằm làm tăng bề mặt hấp thụ bức xạ Mặt Trời. Thông thường kênh dẫn có tiết diện ngang là hình chữ nhật, kích thước $(0,015 \div 0,020) \times 1,00\text{m}$, chiều dài từ 2 đến 5m tùy thuộc vào yêu cầu nhiệt độ đầu ra thấp hay cao. Đáy cách nhiệt và thành chung quanh thường có chiều dày từ $5 \div 7\text{cm}$ được làm bằng bột xốp ethylen hoặc bông thủy tinh. Tấm hấp thụ được làm bằng kim loại (thép, nhôm, đồng) có chiều dày $0,3 \div 0,5\text{mm}$ và được phủ một lớp sơn hấp thụ chọn lọc. Kính dày có chiều dày $4 \div 5\text{mm}$ thường dùng các loại kính xây dựng đã được xử lý nhiệt để giảm nội ứng suất, và có hàm lượng oxit sắt thấp (kính trong), có hệ số truyền qua $\tau = 0,88 \div 0,90$. Dòng khí chảy trong kênh dẫn thường dùng phương pháp đối lưu cưỡng bức (dùng trong công nghiệp sấy) hoặc đối lưu tự nhiên (sưởi ấm gia đình). Dưới đây ta sẽ phân tích chi tiết và tính toán cho bộ thu loại này.

§5.2. Tính hiệu suất và độ sụt áp cho bộ thu nung nóng không khí

5.2.1. Tính hiệu suất

Việc tính hiệu suất cho một bộ thu nung nóng không khí thường rất phức tạp, để đơn giản cho việc tính toán ta chọn mô hình như mô tả trên hình 5.1.1a và chi tiết hơn trên hình 5.2.1



Hình 5.2.1. Chi tiết bộ nung không khí đối lưu.

Giả sử bộ thu có các kích thước như sau: chiều dài L_1 , chiều rộng L_2 , dòng khí chảy song song giữa tấm hấp thụ và đáy cách nhiệt. Để tính hiệu suất trước hết ta lần lượt tính thông số $(\tau\alpha)$, U_i và U_b như đã làm trong chương 4.

Dựa vào mô hình mô tả trên hình 5.2.1 ta thiết lập phương trình cân bằng năng lượng trên một lát mỏng có chiều dài dx , chiều rộng L_2 , cách đầu vào một đoạn x . Diện tích $L_2 dx$ xét chung cho các phần tử gồm: tấm hấp thụ, tấm đáy cách nhiệt và dòng không khí chảy trong kênh dẫn. Khi tính toán ta dựa trên các giả thiết sau đây:

1- Nhiệt độ trung bình của khối khí khi chảy trong khoảng dx là không đổi từ T_f đến $(T_f + dT_f)$;

2- Lưu lượng của khí là $\dot{m}$;

3- Nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ và tấm đáy cách nhiệt tương ứng là T_{lin} và T_{bun} , chúng được coi là không thay đổi tại thời điểm đang xét;

4- Bỏ qua tổn thất nhiệt qua các thành bên. Từ đó phương trình cân bằng năng lượng cho các phần tử diện tích nói trên sẽ là:

- Đối với tấm hấp thụ:

$$SL_2 dx = U_l L_2 dx (T_{pm} - T_a) + h_{ip} L_2 dx (T_{pm} - T_f) + \frac{\sigma L_2 dx}{\left(\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_b} - 1\right)} (T_{pm}^4 - T_{bun}^4) \quad (5.2.1)$$

- Đối với tấm đáy:

$$\frac{\sigma L_2 dx}{\left(\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_b} - 1\right)} (T_{pm}^4 - T_{bun}^4) = h_{ip} L_2 dx (T_{bun} - T_f) + U_b L_2 dx (T_{bun} - T_a) \quad (5.2.2)$$

- Đối với dòng khí:

$$\dot{m} C_p dx = h_{ip} L_2 dx (T_{pm} - T_f) + h_{ib} L_2 dx (T_{bun} - T_f) \quad (5.2.3)$$

trong đó: $S = RH_b(\tau\alpha)$ là thông lượng bức xạ mà mặt hấp thụ nhận được,

U_l - hệ số tổn thất nhiệt lên phía trên;

U_b - tổn thất nhiệt qua mặt đáy;

h_{ip} - hệ số trao đổi nhiệt đối lưu giữa tấm hấp thụ và dòng khí;

h_{ib} - hệ số trao đổi nhiệt giữa dòng khí và đáy cách nhiệt;

ϵ_p, ϵ_b - tương ứng hệ số phát xạ của tấm hấp thụ và đáy cách nhiệt.

Trong thực tế người ta thấy sự sai khác của hệ số trao đổi nhiệt giữa tấm hấp thụ và dòng khí, và tấm đáy với dòng khí là rất nhỏ nên trong khi tính toán có thể coi $h_{ip} = h_{ib}$. Một cách gần đúng trong giới hạn chênh lệch nhiệt độ nhỏ thì có thể coi hệ số bức xạ tỷ lệ tuyến tính với chênh lệch nhiệt độ giữa hai tấm nên có thể viết

$$h_f(T_{pm} - T_a) = \frac{\sigma}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_b} - 1} (T_{pm}^4 - T_a^4) = \frac{\sigma(T_{pm}^2 + T_a^2)(T_{pm} + T_a)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_b} - 1} (T_{pm} - T_a) \quad (5.2.4)$$

Từ đó rút ra được hệ số bức xạ

$$h_r = \frac{\sigma(T_{pm}^2 + T_a^2)(T_{pm} + T_a)}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \quad (5.2.5)$$

Khi chênh lệch nhiệt độ giữa tấm hấp thụ và môi trường ($T_{pm} - T_a$) không lớn lắm thì ta có thể thay thừa số $(T_{pm}^4 - T_a^4)$ bằng một biểu thức gần đúng sau đây:

$4T_{tb}^4(T_{pm} - T_a)$, ở đây $T_{tb} = (T_{pm} + T_a)/2$. Khi đó biểu thức (5.2.5) trở thành

$$h_r = \frac{4\sigma T_{tb}^3}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_b} - 1} \quad (5.2.6)$$

Mặt khác, trong thực tế cho thấy tổn thất nhiệt qua mặt đáy U_b nhỏ hơn rất nhiều so với tổn thất nhiệt qua mặt trên U_t , nên có thể xem $U_t = U_t - \text{tổn thất nhiệt toàn phần}$, do đó có thể bỏ qua số hạng thứ hai trong các phương trình (5.2.2) và viết lại cho cả ba phương trình (5.2.1), (5.2.2) và (5.2.3) như sau

$$S = U_t(T_{pm} - T_a) + h_{ip}(T_{pm} - T_f) + h_r(T_{pm} - T_{bm}) \quad (5.2.7)$$

$$h_r(T_{pm} - T_{bm}) = h_{ip}(T_{bm} - T_f) \quad (5.2.8)$$

$$\frac{\dot{m}C_p dT_f}{L_z dx} = h_{ip}(T_{pm} - T_f) + h_{ib}(T_{bm} - T_f) \quad (5.2.9)$$

Từ phương trình (5.2.8) ta nhận được

$$T_{bm} = \frac{h_r T_{pm} + h_{ib} T_f}{h_r + h_{ib}} \quad (5.2.10)$$

Thay (5.2.10) vào (5.2.7) ta được

$$T_{pm} = \frac{S + U_t T_a + h_e T_f}{U_t + h_e} \quad (5.2.11)$$

$$\text{ở đây,} \quad h_e = \left[h_{ip} + \frac{h_r h_{ib}}{h_r + h_{ib}} \right] \quad (5.2.12)$$

h_e được gọi là hệ số truyền nhiệt hiệu dụng giữa tấm hấp thụ và dòng khí.

Từ đó ta có

$$(T_{pm} - T_a) = \frac{S + h_c(T_f - T_a)}{U_l + h_c} \quad (5.2.13)$$

Từ các phương trình (5.2.7), (5.2.8), (5.2.9) ta có

$$\frac{\dot{m}C}{L} \frac{dT_f}{dx} = S - U_l(T_{pm} - T_a) \quad (5.2.14)$$

Từ các phương trình từ (5.2.7) ÷ (5.2.13) ta nhận được phương trình

$$\frac{\dot{m}C_p}{L_2} \frac{dT_f}{dx} = \frac{1}{\left(1 + \frac{U_l}{h_c}\right)} [S - U_l(T_f - T_a)] \quad (5.2.15)$$

Tương tự như đã làm trong bộ thu phẳng đun nước nóng ta có thể định nghĩa thừa số hiệu suất hiệu dụng F' bằng biểu thức

$$F' = \left(1 + \frac{U_l}{h_c}\right)^{-1} \quad (5.2.16)$$

Khi đó (5.2.15) trở thành

$$\frac{\dot{m}C_p}{L_2} \frac{dT_f}{dx} = F'[S - U_l(T_f - T_a)] \quad (5.2.17)$$

Ta nhận thấy phương trình (5.2.17) giống hệt như phương trình (4.4.18), do đó có thể suy ra nghiệm của phương trình (5.2.17) sẽ là

$$\frac{\left(\frac{S}{U_l} + T_a\right) - T_f}{\left(\frac{S}{U_l} + T_a\right) - T_{fi}} = \exp\left[-\frac{L_2 F' U_l x}{\dot{m}C_p}\right] \quad (5.2.18)$$

Với nhận xét tương tự ta tìm được biểu thức tính nhiệt hiệu dụng mà khí nhận được là

$$q_u = F_R A_p [S - U_l(T_f - T_a)] \quad (5.2.19)$$

ở đây, F_R cũng được gọi là thừa số thoát nhiệt (hay thừa số lưu thông) và được tính theo biểu thức

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{U_1 A_p} \left[1 - \exp \left(- \frac{F' U_1 A_p}{\dot{m}C_p} \right) \right] \quad (5.2.20)$$

Trong đó $A_p = L_1 \times L_2$ = diện tích của tấm hấp thụ.

Tuy nhiên, các kết quả nhận được trên đây là khi tính toán ta đã giả thiết rằng tổn thất nhiệt U_b nhỏ và ta đã bỏ qua. Nếu không bỏ qua U_b trong các phương trình (5.2.2) thì phương trình (5.2.17) có khác đi một ít. Nếu tính toán một cách đầy đủ thì ta sẽ nhận được kết quả sau

$$\frac{\dot{m}C_p}{L_2} \frac{dT_f}{dx} = F' [S - U'' (T_f - T_a)] \quad (5.2.21)$$

ở đây U'' là hệ số tổn thất nhiệt toàn phần tương đương. Các thừa số F' và U'' trong biểu thức (5.2.21) được xác định nhờ các biểu thức:

$$F' = \left(1 + \frac{U_1}{h_c} \right)^{-1} \quad (5.2.22)$$

$$U_1'' = U_1 + \frac{1}{F'} \frac{U_b h_{tb}}{(h_r + h_{tb} + U_b)} \quad (5.2.23)$$

trong đó
$$U_1' = U_1 + \frac{U_b h_r}{(h_r + h_{tb} + U_b)} \quad (5.2.24)$$

và
$$h_c = h_{ip} + \frac{h_r h_{tb}}{(h_r + h_{tb} + U_b)} \quad (5.2.25)$$

Khi đó năng lượng nhiệt bộ thu nhận được sẽ là

$$q_u = F_R A_p [S - U_1'' (T_f - T_a)] \quad (5.2.26)$$

trong đó F_R - thừa số thoát nhiệt của bộ thu được tính theo biểu thức

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{U_1'' A_p} \left[1 - \exp \left(- \frac{F' U_1'' A_p}{\dot{m}C_p} \right) \right] \quad (5.2.27)$$

5.2.2 Sự truyền nhiệt và sụt áp trong kênh dẫn song song

Ở đây ta phải chú ý thêm là quá trình chảy của khí trong kênh dẫn có xảy ra hiện tượng giảm áp suất do tổn thất động năng, do đó dẫn tới làm thay đổi hệ số trao đổi đối

lưu trong kênh dẫn, nên khi tính toán ta không thể không đề cập đến hiện tượng này. Do vậy khi tính toán nhiệt hiệu dụng dựa trên các phương trình (5.2.19) và (5.2.26) ta cần phải biết hệ số đối lưu của không khí nóng trong kênh dẫn ở điều kiện không khí chỉ nhận năng lượng từ phía trên, (mặt tiếp xúc với tấm hấp thụ) mà không nhận năng lượng từ mặt dưới (mặt tiếp xúc với đáy cách nhiệt) nên xảy ra hiện tượng chảy rối. Có thể thừa nhận rằng khi khí chảy đầy trong kênh dẫn, tỉ số giữa chiều dài và đường kính động học kênh dẫn vượt quá 30, và các bề mặt trong là nhẵn ta có thể tính hệ số đối lưu nhờ hai biểu thức thực nghiệm tiêu chuẩn Nusselt gần đúng dưới đây

$$Nu = 0,0158Re^{0,8} \quad (5.2.28)$$

hoặc
$$Nu = \frac{0,01344 Re^{0,75}}{1 - 1,586 Re^{-0,125}} \quad (5.2.29)$$

Phương trình (5.2.28) dựa trên số liệu thực nghiệm của Kays, còn phương trình (5.2.29) lại dựa trên cơ sở đề nghị của Malik và Buclow. Đường kính đặc trưng d_c dùng cho các phương trình trên được định nghĩa như sau:

$$d_c = \frac{4 \times \text{Tiết diện mặt cắt của kênh dẫn}}{\text{Chu vi ướt}} \quad (5.2.30)$$

Để tính toán ta dùng các giá trị trung bình cộng của nhiệt độ đầu vào và đầu ra, và coi hệ số trao đổi đối lưu giữa tấm hấp thụ và khí cũng như giữa tấm đáy và khí là như nhau. Khi số Reynolds trong khoảng 10.000 - 20.000 các giá trị của số Nusselt cho bởi các phương trình (5.2.28) và (5.2.29) sai khác nhau khoảng 10%. Các giá trị này thường gặp trong ứng dụng năng lượng Mặt Trời nung nóng không khí.

Độ sụt áp ΔP như đã nói ở trên được tính theo công thức sau

$$\Delta P = \frac{4f\rho L_1 V^2}{2d_c} \quad (5.2.31)$$

trong đó: ρ - khối lượng riêng của khí, (kg/m³), phụ thuộc nhiệt độ;

L_1 - chiều dài của kênh dẫn (m);

V - vận tốc dòng khí (m/s);

d_c - đường kính đặc trưng, (m);

f - hệ số ma sát giữa khí và thành có bề mặt nhẵn, được tính theo công thức nổi tiếng của Blasius sau

$$f = 0,079Re^{-0,25} \quad (N) \quad (5.2.32)$$

Ví dụ 5.1. Tính hiệu suất của bộ nung không khí với các số liệu cho dưới đây:

- Chiều dài tấm hấp thụ $= 2\text{m}$
- Chiều rộng tấm hấp thụ $= 1\text{m}$
- Khoảng cách giữa tấm hấp thụ và tấm đáy $= 1,5\text{cm}$
- Lưu lượng dòng khí $= 200\text{kg/h}$
- Nhiệt độ khí đầu vào $= 50^\circ\text{C}$
- Nhiệt độ môi trường $= 20^\circ\text{C}$
- Cường độ bức xạ tới trên mặt bộ thu $= 950\text{W/m}^2$
- Hệ số hấp thụ tích hợp hấp thụ truyền qua $(\tau\alpha) = 0,85$
- Hệ số tổn thất nhiệt lên phía trên $= 6,2\text{W/m}^2.\text{K}$
- Hệ số tổn thất nhiệt qua mặt đáy $= 0,8\text{W/m}^2.\text{K}$
- Hệ số phát xạ $\varepsilon_p = \varepsilon_b = 0,95$
- Bỏ qua tổn thất nhiệt qua thành chung quanh.

Trước hết ta tính giá trị của hệ số trao đổi nhiệt đối lưu h_{ip} và h_{ib} . Giả thiết rằng nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ ban đầu là $T_{ip} = 50^\circ\text{C}$. Với khí có các thông số đặc trưng tính chất như sau:

$$\begin{aligned}\rho &= 1,077\text{kg/m}^3 \\ C_p &= 1,005\text{kJ/kg.K} \\ \mu &= 19,85 \cdot 10^{-6}\text{N.s/m}^2 \\ k &= 0,0287\text{W/m.K}\end{aligned}$$

Đường kính khí động đặc trưng tính theo công thức (5.2.30):

$$d_e = \frac{4 \times 1 \times 0,015}{2(1 + 0,015)} = 0,0296\text{m}$$

ở đây, tỉ số chiều dài trên đường kính động học

$$\frac{L_1}{d_e} = \frac{2}{0,0296} = 68 > 30$$

và vận tốc trung bình của khí

$$V_w = \frac{200}{3,600 \times 1,077 \times 1 \times 0,015} = 3,493\text{m/s}$$

$$Re = \frac{\rho V d_e}{\mu} = \frac{1,077 \times 3,439 \times 0,0296}{19,85 \cdot 10^{-6}} = 5,515$$

Giá trị này của số Re cho thấy dòng khí đầy ống và chảy rối. Ta coi bề mặt trong của kênh dẫn là nhẵn nên dùng phương trình (5.2.28) để tính số Nusselt

$$Nu = 0,0158 \times 5515^{0,8} = 15,56$$

Hệ số trao đổi nhiệt giữa tấm hấp thụ với dòng khí và giữa đáy và dòng khí được xem là bằng nhau

$$h_{tp} = h_{tb} = Nu \frac{k}{d_e} = 15,56 \frac{0,0287}{0,0296} = 15,08 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Theo hệ thức (5.2.5) thì hệ số trao đổi nhiệt bức xạ được tính bằng công thức

$$h_r = \frac{\sigma(T_{pm} + T_{bm})(T_{pm}^2 + T_{bm}^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_b} - 1}$$

Để tính h_r ta giả thiết là lúc đầu nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ và tấm đáy bằng nhau và bằng nhiệt độ dòng khí T_{im} . Với giả thiết này thì sự khác nhau của nhiệt độ giữa chúng có thể quá nhỏ dưới 10K nên ta có thể dùng công thức (5.2.6) để tính giá trị h_r

$$h_r = \frac{5,67 \cdot 10^{-8} \times 4 \times (273,2 + 55)^3}{\left(\frac{1}{0,95} + \frac{1}{0,95} - 1\right)} = 7,24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Từ phương trình (5.2.12)

$$h_c = 15,08 + \frac{7,24 \times 15,08}{7,24 + 15,08} = 19,97 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Hiệu suất hiệu dụng của bộ thu

$$F' = \left(1 + \frac{6,2 + 0,8}{19,97}\right)^{-1} = 0,740$$

và

$$\frac{\dot{m} C_p}{UA_p} = \frac{200}{3.600} \frac{1,005 \times 1.000}{7 \times 1 \times 2} = 3,988$$

Từ phương trình (2.5.20) tính được thừa số lưu thông,

$$F_R = 3,988(1 - e^{-0,740/3,988}) = 0,675$$

Nhiệt năng hiệu dụng bộ thu nhận được

$$q_u = 0,675 \times 1 \times 2[950 \times 0,85 - 7(50 - 20)] = 806,6 \text{ W}$$

Hiệu suất tức thời

$$\eta_i = \frac{806,6}{950 \times 1 \times 2} = 0,425$$

Nhiệt độ đầu ra của khí nhận được từ phương trình cân bằng năng lượng

$$\frac{200}{3.600} \times 1,005 \times (T_{f0} - 50) = \frac{806,6}{1.000}$$

Từ đó, $T_{f0} - 50 = 14,45^\circ\text{C}$ và $T_{f0} = 64,45^\circ\text{C}$

Độ giảm áp của bộ thu được tính theo công thức (5.2.31) với hệ số ma sát tính theo công thức (5.2.32)

$$f = 0,079 \times 5,515^{-0,25} = 0,009167$$

từ đó,
$$\Delta P = \frac{4 \times 0,009167 \times 1,077 \times 2 \times 3,439^2}{2 \times 0,0296} = 15,58 \text{ N/m}^2 = 1,61 \text{ mm(H}_2\text{O)}$$

Cuối cùng, nếu dùng các công thức hiệu chỉnh theo các biểu thức từ (5.2.20) đến (5.2.26) ta sẽ nhận được các kết quả sau đây

$$F' = 0,754$$

$$F_R = 0,986$$

$$q_u = 813,9 \text{ W}$$

$$\eta_i = 0,428$$

§5.3. Một vài dạng bộ nung khí khác

Sau đây ta sẽ tiến hành khảo sát tính toán hiệu suất bộ nung không khí với cách bố trí các kênh dẫn theo các phương án khác nhau như đã trình bày trên hình 5.1.1

5.3.1. Dòng chảy trong kênh nằm giữa kính đáy và tấm hấp thụ

Như mô hình cho trên hình (5.1,1b), dòng khí chảy song song giữa tấm kính đáy và tấm hấp thụ. Quá trình phân tích và tính toán được tiến hành như đã làm cho trường hợp (5.1.1a). Ta viết hệ phương trình cân bằng năng lượng cho các bộ phận của bộ thu như sau:

$$* \text{ Đối với tấm hấp thụ, } S = h_{fp}(T_{pm} - T_f) + h_r(T_{pm} - T_c) + U_h(T_{pm} - T_u) \quad (5.3.1)$$

* Đối với tấm kính, $h_i(T_{pm}-T_c) = U_i(T_c-T_a) + h_{fc}(T_c-T_l)$ (5.3.2)

* Đối với dòng khí, $\frac{\dot{m}C_p dT_r}{L_2 dx} = h_{ip}(T_{pm}-T_l) + h_{fc}(T_c-T_l)$ (5.3.3)

ở đây,
$$h_r = \frac{\sigma}{\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1} \frac{(T_{pm}^4 - T_c^4)}{(T_{pm} - T_c)} \quad (5.3.4)$$

Các hệ số đối lưu chứa trong các phương trình trên được tính theo các biểu thức (5.2.28) hoặc (5.2.29), và U_i cũng tính theo chênh lệch nhiệt độ $(T_c - T_a)$, còn U_b thì tính theo chênh lệch nhiệt độ $(T_{pm} - T_a)$. Nghiệm của các phương trình (5.3.1), (5.3.2) và (5.3.3) cũng có dạng như các phương trình (5.2.26) và (5.2.27). Từ đó ta nhận được nhiệt lượng có ích và thừa số thoát nhiệt cho trường hợp này. Tuy nhiên, hệ số tổn thất nhiệt toàn phần và hiệu suất hiệu dụng của bộ thu thì tính theo các biểu thức sau:

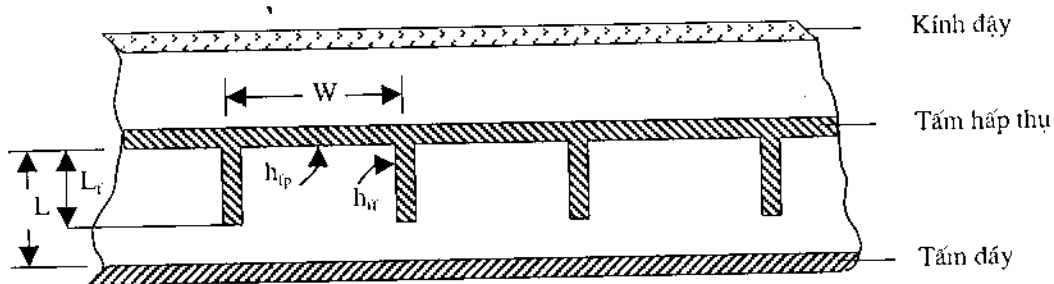
$$U_i'' = \frac{(U_i + U_b)(h_{fc}h_{ip} + h_{fc}h_r + h_{ip}h_r) + U_i U_b(h_{fc} + h_{ip})}{h_{fc}h_r + h_{ip}h_r + h_{ip}U_i + h_{fc}h_{ip}} \quad (5.3.5)$$

$$F' = \frac{h_{fc}h_r + h_{ip}U_i + h_{ip}h_r + h_{fc}h_{ip}}{(U_i + h_r + h_{fc})(U_b + h_r + h_{ip}) - h_r^2} \quad (5.3.6)$$

Các bộ nung khí theo mô hình này có cấu trúc đơn giản hơn các bộ nung khí cổ điển nhưng cho hiệu suất thấp vì tổn thất nhiệt lên mặt trên khá lớn.

5.3.2. Bộ nung khí với tấm hấp thụ có cánh.

Để nâng cao hiệu suất bộ thu người ta thiết kế tạo thêm cánh trên tấm hấp thụ suốt dọc theo chiều dài bộ thu (hình 5.3.1).



Hình 5.3.1. Bộ nung khí đối lưu dạng tấm có cánh.

Giả sử ở đây tấm mỏng có chiều rộng L_f và chiều dày δ_f ; khoảng cách giữa các tấm W ; khoảng cách giữa tấm hấp thụ và tấm đáy ($L - L_f$). Ta hãy khảo sát một lát mỏng có chiều rộng W và chiều dày dx , cách đầu vào một đoạn x . Ta viết các phương trình cân bằng năng lượng trên các phần tử diện tích vừa được chọn như sau:

$$SWdx = U_i Wdx(T_{pm} - T_a) + h_{ip} Wdx(T_{pm} - T_f) + 2L_f dx F_i h_{if}(T_{pm} - T_f) + h_r Wdx(T_{pm} - T_{bm}) \quad (5.3.7)$$

$$h_r Wdx(T_{pm} - T_{bm}) = h_{fb} Wdx(T_{bm} - T_f) + U_b Wdx(T_{bm} - T_a) \quad (5.3.8)$$

$$\begin{aligned} \frac{W}{L_2} \dot{m} C_p dT_f = h_{ip} Wdx(T_{pm} - T_f) + 2L_f dx F_i h_{if}(T_{pm} - T_f) + \\ + h_{fb} Wdx(T_{bm} - T_f) \end{aligned} \quad (5.3.9)$$

trong đó: F_i - hiệu suất cánh = $[tgh(mL_f)]/LmL_f$; $m = (2h_{if}/k_f \delta_f)^{1/2}$; $(5.3.9)'$

h_{if} - hệ số trao đổi nhiệt đối lưu giữa bề mặt cánh và dòng khí;

h_r - hệ số trao đổi nhiệt bức xạ.

Như đã làm trong mục 5.2, trong phương trình (5.3.8) ta bỏ qua ảnh hưởng do tổn thất nhiệt qua đáy U_b , và coi tổn thất nhiệt lên phía trên U_i trong phương trình (5.3.7) là tổn thất nhiệt toàn phần U_i thì các phương trình trên có dạng

$$S = U_i(T_{pm} - T_a) + h_{ip}(1 + \frac{2L_f F_i h_{if}}{Wh_{ip}})(T_{pm} - T_f) + h_r(T_{pm} - T_{bm}) \quad (5.3.10)$$

$$h_r(T_{pm} - T_{bm}) = h_{fb}(T_{bm} - T_f) \quad (5.3.11)$$

$$\frac{\dot{m} C_p}{L_2} \frac{dT_f}{dx} = h_{ip}(1 + \frac{2L_f F_i h_{if}}{Wh_{ip}})(T_{pm} - T_f) + h_{fb}(T_{bm} - T_f) \quad (5.3.12)$$

Các phương trình từ (5.3.10) đến (5.3.12) nếu từ (5.3.12) thay $(1 + \frac{2L_f F_i h_{if}}{Wh_{ip}})$

bằng h_{ip} thì ta nhận được các phương trình giống hệt như (5.1.15) ÷ (5.1.17) đã nhận được trước đây. Như vậy các kết quả tính nhiệt năng hiệu dụng q_u và thừa số thoát nhiệt F_R trong các phương trình (5.1.17) và (5.1.18) vẫn phù hợp cho trường hợp này. Biểu thức hiệu suất F' của bộ nung khí cũng giống như (5.2.22), nhưng hiệu suất truyền nhiệt hiệu dụng h_c ở đây phải được xác định bằng biểu thức

$$h_c = h_{ip}(1 + \frac{2L_r F_r h_{ir}}{Wh_{ir}}) + \frac{h_r h_{ib}}{h_r + h_{ib}} \quad (5.3.13)$$

Whillier cũng đã đưa ra biểu thức xác định thừa số hiệu suất của bộ thu dạng vách ngăn với giả thiết bỏ qua sự trao đổi nhiệt bức xạ, nhưng có xem xét đến hiệu suất hấp thụ của tấm F_p . Hai phương trình để tính F' trong hai trường hợp này là giống hệt nhau, nếu cho $h_r = 0$ và F_p bằng đơn vị.

Cần phải lưu ý khi xác định hiệu suất của bộ nung khí này ta cần phải tính đến là giá trị của các hệ số trao đổi nhiệt đối lưu và độ sụt áp của dòng chảy của khí trong kênh dẫn. Với ý nghĩa đó, Thombre và Sukhamate đã đưa ra các biểu thức thực nghiệm gần đúng để áp dụng cho kênh dẫn có tỉ số giữa khe hở và khoảng trống giữa hai cánh liền kề $(L - L_r)/(W - \delta_r) < 1$, hoặc tỉ số của khoảng trống giữa hai cánh liền kề với chiều cao cánh $(W - \delta_r)/L_r > 1$. Những quy định này khá phù hợp với tình hình thực tế trong các bộ nung khí bằng năng lượng Mặt Trời. Khi đó số Nusselt được tính theo biểu thức sau đây

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (5.3.14)$$

ở đây, đường kính đặc trưng dùng để tính số Nu và Re được lấy theo đường kính tương đương d_c theo định nghĩa

$$d_c = \frac{4 \times \text{tiết diện cắt ngang của kênh dẫn có cánh}}{\text{Đường kính ướt của kênh dẫn có cánh}} = \frac{4(WL - \delta_r L_r)}{2(W + L_r)} \quad (5.3.15)$$

Khi tính toán các biểu thức trên đây giá trị của nhiệt độ thường được lấy trung bình cộng của nhiệt độ đầu vào và nhiệt độ đầu ra, và các giá trị h_{ip} , h_{ir} , h_{ib} thường cho bằng nhau.

Độ sụt áp của dòng không khí trong kênh dẫn được tính theo công thức

$$f = M Re^{-m} \quad (5.3.16)$$

$$\begin{aligned} \text{Ở đây, } M &= 0,040[2,058 - \{(L - L_r)/L_r\}^{0,313}] \quad \text{khi} \quad Re < 15.000 \\ &= 0,033[1,394 - \{(L - L_r)/L_r\}^{0,408}] \quad \text{khi} \quad Re > 15.000 \\ m &= 0,075[3,40 - \{(L - L_r)/L_r\}^{0,711}] \quad \text{khi} \quad Re < 15.000 \\ &= 0,138[1,435 - \{(L - L_r)/L_r\}^{0,773}] \quad \text{khi} \quad Re > 15.000 \end{aligned}$$

và f , hệ số ma sát và kích thước đặc trưng chứa trong Re để tính đường kính tương đương d_c .

Ví dụ 5.2. Tính lại bộ nung khí bằng năng lượng Mặt Trời trong ví dụ 5.1 nhưng có tấm hấp thụ dạng cánh, nằm dọc suốt chiều dài của tấm hấp thụ và đáy, với các giả thiết sau đây.

$$\text{- Khoảng cách tâm giữa các cánh} \quad = 2,5\text{cm}$$

- Chiều cao cánh = 1,3cm
- Chiều dày cánh = 0,3cm

Lấy chính các giá trị của hệ số bức xạ nhiệt của ví dụ trước để tính:

a/- nhiệt độ đầu ra của khí,

b/- hiệu suất tức thời của bộ thu,

c/- độ sụt áp trong kênh dẫn

Trước hết dùng phương trình (5.3.14) tính giá trị hệ số trao đổi nhiệt đối lưu. Giả thiết: nhiệt độ trung bình của chất lỏng là 60°C, và khí có các tính chất đặc trưng riêng như sau:

$$\rho = 1,060 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 1,005 \text{ kJ/kg.K}$$

$$k = 0,0290 \text{ W/m.K}$$

$$\gamma = 18,97 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr} = 0,696$$

$$\text{Đường kính tương đương } d_e = \frac{4(2,5 \times 1,5 - 0,3 \times 1,3)}{2(2,5 + 1,3)} = \frac{4 \times 3,36}{7,6} = 1,768 \text{ cm}$$

Vận tốc trung bình của dòng chảy

$$v = \frac{200}{3.600 \times 1,060 \times 40 \times 3,36 \cdot 10^{-4}} = 3,900 \text{ m/s}$$

$$\text{Số Reynolds} \quad \text{Re} = \frac{V d_e}{\nu} = \frac{3,900 \times 1,768 \cdot 10^{-2}}{18,97 \cdot 10^{-6}} = 3.635 < 15.000$$

Thay vào phương trình (5.3.14)

$$\text{Nu} = 0,023 \times 3.635^{0,8} \times 0,696^{0,4} = 14,035$$

$$\text{Theo đầu bài ta có: } h_{tt} = h_{tp} = h_m = 14,035 \frac{0,0290}{1,768 \cdot 10^{-2}} = 23,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Tiếp theo, tính hiệu suất cánh với giả thiết cánh có hiệu suất dẫn nhiệt ($k = 50 \text{ W/m.K}$)

$$mL_f = \left(\frac{2 \times 23,02}{50 \times 0,3 \cdot 10^{-2}} \right)^2 \times 1,3 \cdot 10^{-2} = 0,2277$$

$$F_f = \frac{\tanh(mL_f)}{mL_f} = \frac{0,2238}{0,2277} = 0,9830$$

Từ (5.3.13) tính hệ số trao đổi nhiệt h_c

$$h_c = 23,02 \left(1 + \frac{2 \times 1,3 \cdot 10^{-2} \times 0,9830}{2,5 \cdot 10^{-2}} \right) + \left(\frac{7,24 \times 23,02}{7,24 + 23,02} \right) = 52,05 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Từ đây ta có thể tính được các thông số tiếp theo khi dùng các phương trình (5.2.16) và (5.2.20) như:

$$F' = \left(1 + \frac{7,0}{52,05} \right)^{-1} = 0,8815$$

$$\frac{mC_p}{U_i A_p} = \frac{200}{3.600} \times \frac{1,005 \times 1000}{7,0 \times 1 \times 2} = 3,988$$

$$F_R = 3,988(1 - e^{-0,8815/3,988}) = 0,7900$$

$$q_u = 0,7909 \times 1 \times 2[950 \times 0,85 - 7,0(50 - 20)] = 945,1 \text{ W}$$

Nhiệt độ đầu ra của khí nhận được theo phương trình

$$\frac{200}{3.600} \times 1,005 \times (T_{r0} - 50) = \frac{945,1}{1000}$$

Từ đó nhận được $(T_{r0} - 50) = 16,93^\circ\text{C}$ và $T_{R0} = 66,93^\circ\text{C}$.

Hiệu suất tức thời $\eta_i = \frac{945,1}{950 \times 1 \times 2} = 0,498$

Độ sụt áp của bộ nung khí được tính bằng phương trình (5.3.16) và (5.2.29) ta có

$$M = 0,040 \left[2,058 - \left(\frac{0,2}{1,3} \right)^{0,313} \right] = 0,06006$$

$$m = 0,075 \left[3,40 - \left(\frac{0,2}{1,3} \right)^{0,711} \right] = 0,2352$$

Từ đó: $f = 0,06006 \times 3,635^{0,2352} = 0,008734$

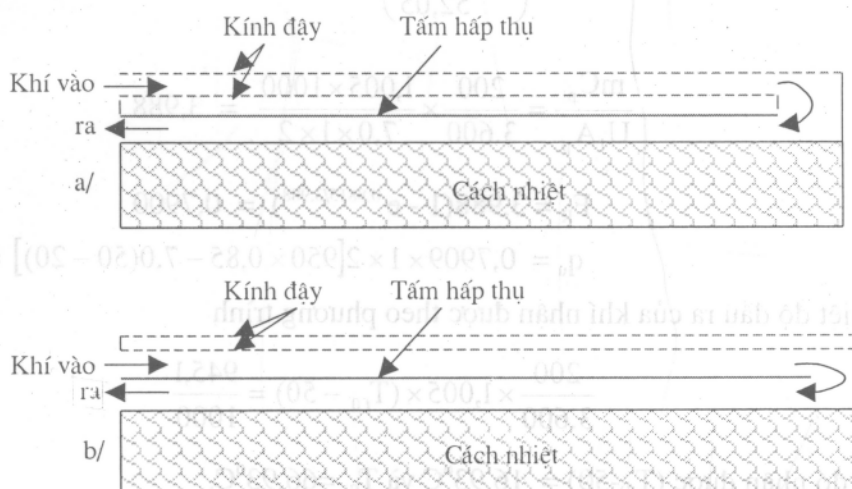
Độ sụt áp:
$$\Delta P = \frac{4 \times 0,008734 \times 1,060 \times 2 \times 3.900^2}{2 \times 0,01768} = 31,85 \text{ N/m}^2.$$

So sánh kết quả này với ví dụ 5.1 ta thấy rằng hiệu suất của bộ nung nóng khí tăng một cách đáng kể từ 42,5% lên 49,8%, nghĩa là tăng tuyệt đối là 7,3%. Tuy nhiên độ sụt áp lại tăng từ 15,78N/m² lên 31,85N/m².

Nhiều nghiên cứu khác cũng cho thấy việc cải tiến kết cấu để tăng hiệu suất thường kèm theo thay đổi kết cấu của tấm hấp thụ, như việc cấu tạo thêm cánh cho tấm hấp thụ, nhưng việc thêm số cánh thì làm tăng độ sụt áp, do đó phải chọn số cánh tối ưu, không được tăng số cánh một cách tùy tiện.

5.3.3. Bộ nung khí hai kênh

Để làm giảm tổn thất nhiệt lên phía trên người ta còn đưa ra một thiết kế có kết cấu hai kênh dẫn khí song song nhau như mô tả trên hình 5.3.2.



Hình 5.3.2. Bộ nung khí hai kênh dẫn.

Khí đầu vào có nhiệt độ môi trường, chảy theo kênh phía trên, (giữa tấm kính thứ nhất và tấm kính thứ hai), sau đó chảy ngược lại theo kênh dưới (giữa tấm hấp thụ và đáy (hình 5.3.2a)), hoặc kênh trên (nằm giữa tấm kính thứ hai và tấm hấp thụ), còn kênh dưới (nằm giữa tấm hấp thụ và đáy (hình 5.3.2b)).

Kết quả thực nghiệm cho thấy nhiệt độ bên ngoài tấm kính giảm được từ 2 đến 5 độ, nhờ đó mà hiệu suất bộ thu tăng lên được 10 đến 15% so với bộ thu chỉ có một kênh.

Chênh lệch nhiệt độ của khí giữa đầu vào và đầu ra là 50⁰C, trong khi đó ở bộ nung một kênh nhiệt độ này chỉ chênh lệch có 20⁰C.

Câu hỏi và bài tập chương 5

Câu hỏi

1. Mô tả bằng hình vẽ các loại kết cấu bộ thu phẳng nung nóng không khí. Cho biết loại nào cho hiệu suất cao nhất và loại nào cho hiệu quả kinh tế lớn nhất.
2. Trình bày các bước trong quá trình tính hiệu suất của một bộ thu phẳng nung nóng không khí.
3. Cho một nhận xét chung về cách tính hiệu suất đối với các loại kết cấu đã được trình bày ở chương này.

Bài tập

Đọc và làm lại các bài tập ví dụ (5.1) và (5.2) đã cho trong chương này (cố gắng tự giải không xem bài mẫu)

Chương 6

THIẾT BỊ THU BỨC XẠ HỘI TỤ

§6.1. Mở đầu

Trong các chương 4 và 5 chúng ta đã khảo sát thiết bị thu phẳng, dùng đun nước nóng và nung nóng không khí, loại thiết bị này chỉ cho nhiệt độ đầu ra từ 50°C đến 100°C . Trong chương này chúng ta sẽ xem xét và phân tích một loại thiết bị thu bằng phương pháp hội tụ các chùm tia bức xạ mặt trời. Loại thiết bị này có thể cho nhiệt độ cao hơn hẳn loại thu phẳng. Tùy theo yêu cầu người ta có thể thiết kế những thiết bị mà nhiệt độ tại mặt phẳng tiêu có thể đạt từ 400°C đến trên 2.500°C . Thông thường trong công nghiệp yêu cầu từ 400°C đến 800°C . Sau đây chúng ta hãy làm quen với một số khái niệm và định nghĩa về thiết bị hội tụ bức xạ.

6.1.1. Những khái niệm và định nghĩa tổng quát

Để hội tụ các chùm tia bức xạ Mặt Trời người ta thường dùng các hệ gương phản xạ dạng parabol trụ hoặc tròn xoay, hoặc hệ thấu kính khúc xạ để hướng chùm tia trực xạ của bức xạ Mặt Trời tới một diện tích nhỏ được gọi là *mặt phẳng tiêu* (mặt phẳng chứa tiêu điểm). Mặt phẳng tiêu của bộ thu dạng parabol trụ thường được bao bọc bởi một ống kính trong suốt để giảm tổn thất nhiệt do đối lưu ra môi trường chung quanh. Vì vậy, trong các hệ quang luôn kèm theo sự tổn thất năng lượng do các chùm tia bị phản xạ một phần, và bị suy giảm khi phải xuyên qua lớp kính bọc trong suốt này; cũng như do sai số hình dáng hình học khi chế tạo ra chúng. Tổ hợp tất cả các tổn thất quang vừa kể trên đưa đến một khái niệm mới gọi là *hiệu suất quang*. Tuy nhiên, tổn thất quang được bù lại nhờ các tia tới được tập trung lên một diện tích nhỏ hơn nhiều lần so với mặt phẳng nhận bức xạ ban đầu, nên tổn thất nhiệt toàn phần của hệ cũng nhỏ hơn nhiều lần so với các bộ thu phẳng, do đó hiệu suất thiết bị loại này thường đạt được cao hơn.

Khác với thiết bị thu phẳng là các hệ quang phức tạp hơn, vì hệ này *chỉ dùng thành phần trực xạ* nên việc chế tạo và duy trì hoạt động của hệ thiết bị phải được điều khiển luôn hướng về phía Mặt Trời. Đối với các hệ hội tụ yêu cầu độ tập trung không cao thì một vài ngày mới cần điều chỉnh một lần, có thể bằng phương pháp thủ công, nhưng đối với các hệ cần độ tập trung cao thì phải điều chỉnh liên tục bằng phương pháp

tự động, nên việc thiết kế và chế tạo vô cùng phức tạp, làm cho giá thành của thiết bị rất cao. Hơn nữa, như trên đã nói, hệ chỉ nhận thành phần bức xạ trực xạ còn thành phần bức xạ tán xạ bị loại bỏ, nên hiệu suất tính trên tổng xạ sẽ giảm. Do đó các hệ hội tụ chỉ làm việc tốt trong các ngày nắng to, bầu trời quang đãng, không có mây mù (tỷ lệ cường độ trực xạ trên tổng xạ lớn). Tuy vậy, trong những năm gần đây nhờ những tiến bộ khoa học trong công nghệ thiết kế, và chế tạo mà người ta đã cho ra đời các hệ hội tụ có độ chính xác cao, với giá thành có thể chấp nhận được. Một số trong các hệ này đã trở thành thương phẩm. Hầu hết trong các thiết bị hội tụ dạng thương phẩm là các hệ hội tụ có dạng parabol trụ. Trong các hệ này chùm tia hội tụ nằm trên một dải dài chạy dọc theo cả chiều dài đường tiêu của parabol, và nhiệt độ ở đây có thể đạt được 400°C

6.1.2. Phân loại các mô hình thiết bị hội tụ bức xạ

Một cách tổng quát ta có thể nhận biết các dạng hội tụ vừa đề cập ở trên qua hình 6.1.1.

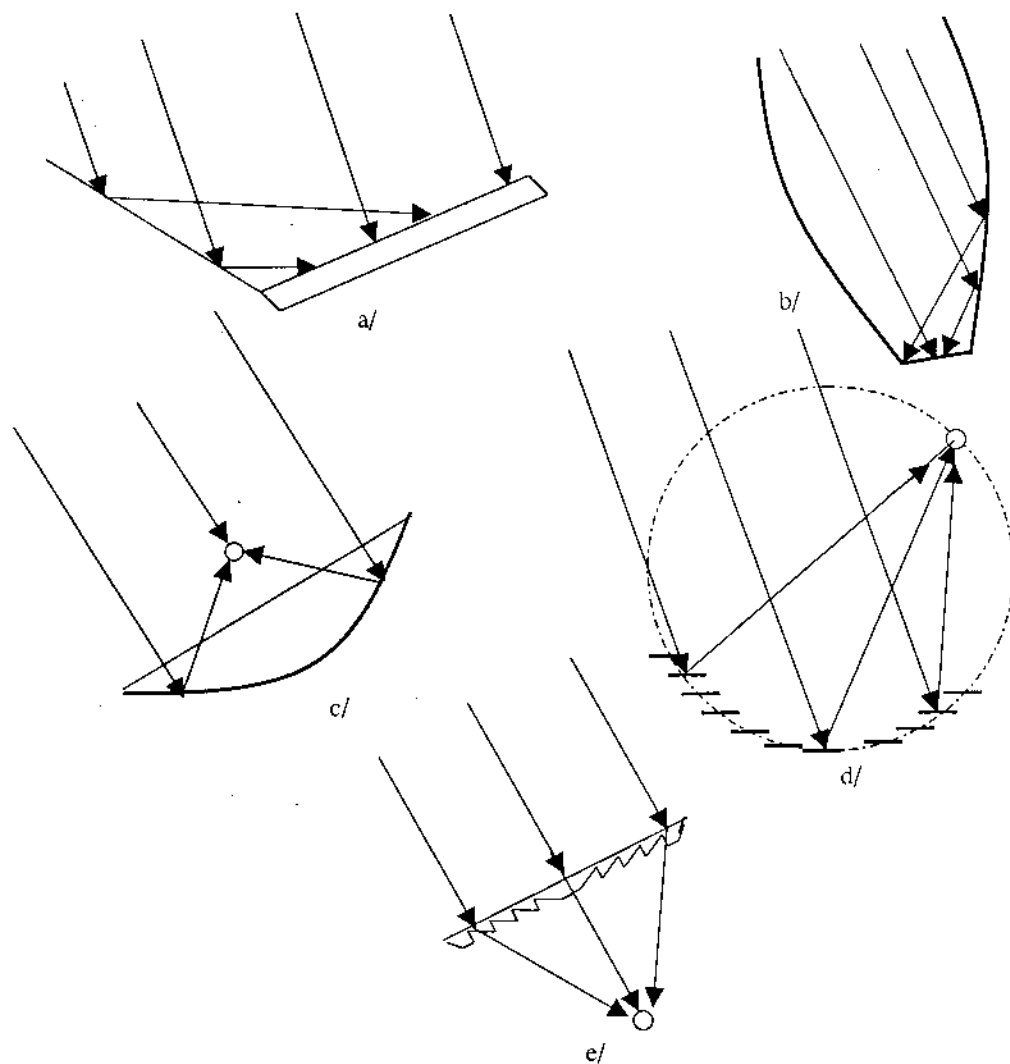
Trong đó (hình 6.1.1a) một tấm hấp thụ phẳng được gắn thêm từ 1 đến 4 gương phản xạ ở 4 cạnh chung quanh để tăng cường thêm bức xạ cho mặt hấp thụ. Bộ thu có kết cấu theo dạng này có thể đạt được nhiệt độ cao hơn từ 20° đến 30°C , chúng ta sẽ xem xét chi tiết ở mục 6.2.

Dạng *parabol kép* như mô tả trên hình 6.1.1b. Bao gồm các tấm cong có dạng parabol dựng chung quanh, mặt nhận bức xạ được đặt ở đáy để vừa nhận bức xạ trực tiếp vừa nhận các tia phản xạ từ các thành bên, giống như phản xạ phẳng (hình 6.1.1a), nhưng độ tập trung có thể đạt được từ 3 đến 10. Ưu điểm chính của loại này là góc nhận bức xạ được mở rộng hơn, nhưng đòi hỏi phải tiến hành điều chỉnh hướng liên tục để mặt hứng nắng luôn hướng về phía Mặt Trời. Khả năng tập trung cực đại của loại này có thể bằng với parabol trụ. Ta cũng sẽ khảo sát chi tiết ở tiết 6.4.

Tiếp theo là bộ thu có dạng *parabol trụ* (hình 6.1.1c), ở đây các tia tới song song với trục quang vuông góc với mặt hứng nắng, sẽ phản xạ và hội tụ trên một dải mặt tiêu, nằm dọc theo cả chiều dài của trục parabol. Cấu tạo của loại này không quá phức tạp nên trong thiết kế và chế tạo có tính khả thi cao. Nhờ đó loại này có nhiều khả năng trở thành dạng thương phẩm. Chúng ta sẽ phân tích và khảo sát đầy đủ trong mục 6.3.

Muốn đạt được độ tập trung cao hơn thì parabol phải có dạng tròn xoay, có mặt phẳng tiêu là một đĩa nhỏ. Loại này có *độ tập trung cao* (còn gọi là *độ hội tụ*, là tỷ số của diện tích bề mặt nhận và diện tích mặt phẳng tiêu) đạt tới từ 100 đến hàng nghìn, nhiệt độ tại tiêu điểm có thể đạt đến trên 3.000°C . Tuy nhiên, để đạt được nhiệt độ như thế thì việc thiết kế chế tạo đòi hỏi độ chính xác rất cao và hệ điều khiển cũng rất phức tạp, nên loại này chỉ được áp dụng trong nghiên cứu khoa học, ít có tính ứng dụng trong thực tế.

Loại *hội tụ có tiêu điểm di động* hình (6.1.1d). Trong quá trình hoạt động của hệ này tiêu điểm hội tụ của hệ vừa nhận bức xạ đồng thời vừa chuyển động trên một đường tròn chứa các mặt phản xạ, nhằm luôn nhận được bức xạ khi Mặt Trời chuyển động từ Đông sang Tây. Nhờ đó mà người ta không phải điều khiển toàn bộ hệ gương phản xạ luôn hướng về phía Mặt Trời, nên giảm được độ phức tạp của hệ điều khiển trong quá trình hoạt động của bộ thu.



Hình 6.1.1. Các dạng hội tụ:

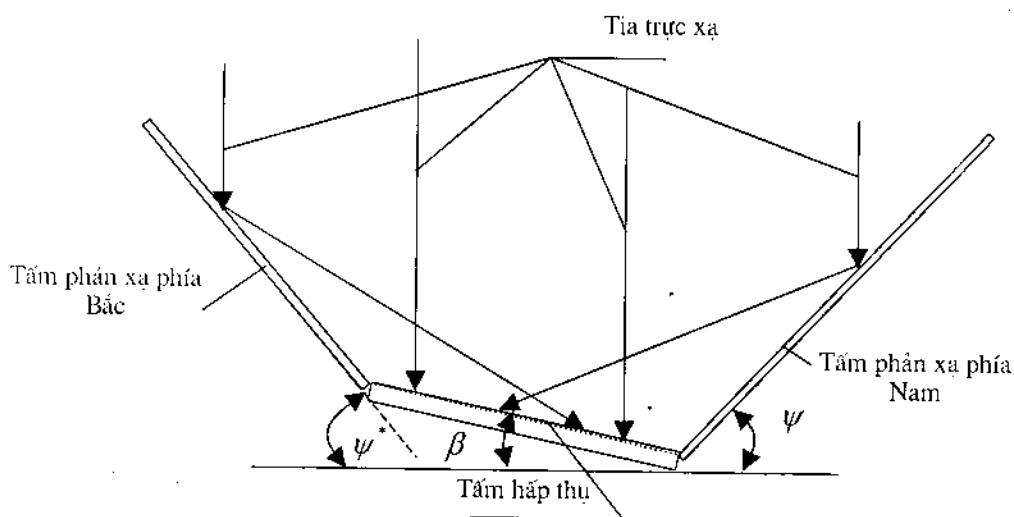
a- tấm phẳng có mặt phản xạ cố định; b- parabol kép; c- parabol trụ; hoặc tròn xoay;
d- tiêu điểm chuyển động trên đường tròn; e- thấu kính hội tụ Fresnel.

Cuối cùng là phương pháp hội tụ bằng *thấu kính Fresnel* (hình.6.1.1e), đó là một thấu kính mỏng được ghép đồng trục bởi nhiều đối cầu có bán kính và độ nghiêng khác nhau trên một tấm đáy tròn phẳng. Khi các tia tới song song với trục của đĩa tròn, sau

khi xuyên qua các đối cầu sẽ bị khúc xạ và đều hội tụ trên một mặt phẳng tiêu, đặt tại tiêu điểm chung của các đối cầu. Tất cả các loại thiết bị hội tụ mô tả trên các hình 6.1.1 c,d,e có độ tập trung thường đạt được từ 10 đến 80, và nhiệt độ có thể đạt được từ 150 đến 400°C. Dưới đây ta sẽ lần lượt phân tích chi tiết một số mô hình vừa nêu trên.

§6.2. Thiết bị hội tụ tấm phẳng có mặt phản xạ bố trợ

Thiết bị hội tụ tấm phẳng là loại thiết bị thu không có tiêu điểm, trong thực tế nhiệt độ nhận được cao hơn không đáng kể so với bộ thu tấm phẳng thông thường. Một tấm hấp thụ có thể ghép đồng thời 2 đến 4 tấm gương phản xạ trên các cạnh chung quanh. Nhưng trong thực tế thường chỉ ghép thêm 2 tấm gương phản xạ: một tấm với cạnh phía Bắc, tấm thứ hai ghép với cạnh phía Nam (h. 6.2.1) Các tấm gương phản xạ này phản chiếu cả các tia trực xạ và các tia tán xạ khuếch tán theo các phương khác nhau. Độ tập trung đạt được từ 1 đến 4. Nhiệt độ có thể nhận được từ 130 đến 140°C. Ưu điểm của loại này so với thiết bị hội tụ là nó vẫn nhận được các thành phần tán xạ mà các thiết bị hội tụ khác thành phần này bị loại trừ. Trong thực tế thì các thiết bị loại này chỉ dùng một gương phản xạ đặt ở cạnh phía bắc để thuận tiện hơn trong việc điều chỉnh bằng tay.



Hình 6.2.1. Tấm hấp thụ phẳng có ghép hai tấm phản xạ.

Mỗi ngày góc nghiêng của gương có thể được thay đổi vài lần về hướng Mặt Trời để đón nhận tia bức xạ được nhiều nhất. Nếu là hệ lớn thì vài ngày thay đổi góc nghiêng một lần. Kích thước của gương phía bắc thường lấy bằng kích thước của tấm hấp thụ. Góc nghiêng của gương phản xạ (hình 6.2.1) được tính theo công thức

$$\psi = (\pi - \beta - 2\varphi + 2\delta)/3 \quad (6.2.1)$$

trong đó β - góc nghiêng của tấm hấp thụ; φ - góc vĩ tuyến; δ - góc lệch Mặt Trời.

Phương trình (6.2.1) được xác lập theo giả thiết là tại thời điểm 12h trưa, gương phản xạ được điều chỉnh sao cho các tia phản xạ dọc theo mép trên cùng của các gương phải nằm trọn trên diện tích mặt hấp thụ.

§6.3. Bộ thu dạng parabol trụ

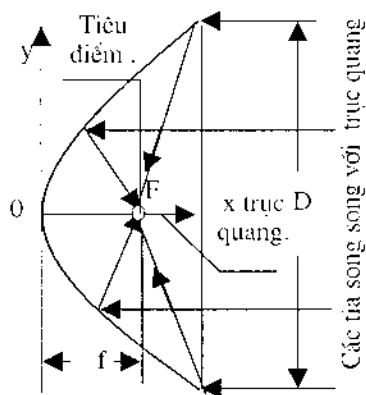
6.3.1. Mô tả hình dạng

Bộ thu parabol thường được cấu tạo bởi một mặt phản xạ có dạng parabol bằng cách triển khai phương trình (6.3.1) dưới đây

$$y^2 = 2fx \quad (6.3.1)$$

trong đó, f là khoảng cách từ đáy đến tiêu điểm F của parabol như được mô tả trên hình 6.3.1. Trục Ox chứa tiêu điểm F được gọi là *trục quang*

Các tia tới song song với trục quang đều hội tụ tại tiêu điểm F . Giá trị của f , chiều rộng khẩu độ D được xác định tùy thuộc vào yêu cầu và mục đích sử dụng.



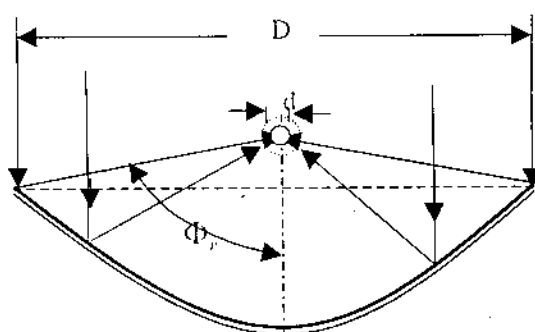
Hình 6.3.1. Đường cong parabol

Để tạo ra một parabol trụ người ta chế tạo một cái dưỡng có đường cong như phương trình (6.3.1) với các thông số f và D cho trước. Từ đó tạo ra một mặt cong tựa trên các sườn có hình dạng của dưỡng. Muốn tạo ra một mặt parabol tròn xoay người ta tạo ra một mạn sườn rồi dùng dưỡng quay quanh trục quang và điều chỉnh các thanh sườn sao cho mặt cong của chúng trùng khít với dưỡng, cuối cùng lắp mặt phản xạ tựa trên sườn đã được định vị theo dạng parabol tròn xoay. Để chế tạo mặt parabol tròn xoay chính xác người ta dùng một thiết bị gia công đặc biệt thực hiện theo chương trình điều khiển cho trước. Mặt cong sẽ có dạng đúng phương trình (6.3.1), sau đó tiến hành đánh bóng để đạt được độ bóng cần thiết. Tùy theo mục đích sử dụng mà người ta chọn một trong hai loại trên: parabol trụ hoặc parabol tròn xoay

1- Parabol trụ

Mặt phản xạ là một máng cong có dạng parabol, các chùm tia trực xạ chiếu song song với trục quang của parabol đều bị phản xạ từ mặt parabol và hội tụ tại *đường tiêu* tạo thành một dải, nằm dọc suốt chiều dài máng. Tâm của ống thu nhiệt được đặt trùng với trục tiêu của parabol. Trong ống có chất tải nhiệt chảy qua. Để giảm bớt tổn thất nhiệt do hiện tượng đối lưu, người ta bọc ra ngoài ống thu nhiệt một ống thủy tinh trong suốt khác (hình 6.3.2).

Hiện nay người ta có thể chế tạo được những parabol trụ thương phẩm có diện tích hứng nắng từ 1 đến 6m². Mặt hứng nắng có chiều dài lớn hơn bề rộng nhiều lần, và độ tụ đạt từ 10 đến 80. góc mở Φ_p từ 70° đến 120°.



Hình 6.3.2. Mô tả các đặc trưng của parabol trụ.

Ống hấp thụ thường được làm bằng thép mềm hoặc bằng đồng, đường kính 2.5 đến 5 cm, mặt ngoài của ống được phủ một lớp sơn hấp thụ chọn lọc, như phủ lớp crôm đen. Toàn bộ ống này được đặt bên trong một ống thủy tinh trong suốt, khoảng cách giữa hai ống thường từ 1-2cm. Trong một số trường hợp để nâng cao hiệu suất người ta còn phủ một tấm chất dẻo trong suốt trên mặt hứng nắng để bảo vệ bề mặt phản xạ khỏi bị ẩm mốc, làm giảm độ phản xạ.

Chất lỏng tải nhiệt tùy thuộc vào yêu cầu nhiệt độ đầu ra mà người ta dùng nước hoặc chất truyền nhiệt hữu cơ, tuy nhiên do độ dẫn nhiệt của chất hữu cơ kém, hệ số truyền nhiệt thấp nên ống dẫn thường được cấu tạo dạng lá xoắn, nhằm làm giảm vận tốc chuyển động của chất tải, để tăng giá trị hệ số truyền nhiệt giữa ống và chất tải.

2- Parabol đĩa tròn xoay

Mặt phản xạ là một mặt gương dạng parabol tròn xoay, các chùm tia tới song song với trục quang sau khi phản xạ trên mặt gương đều hội tụ tại tiêu điểm và tạo trên mặt phẳng tiêu *một ảnh phản xạ có dạng đĩa tròn* (đường kính d), diện tích của ảnh phản xạ nhỏ hơn nhiều lần so với diện tích nhận bức xạ của parabol (đường kính D) (hình 6.3.2). Tỷ số của diện tích có đường kính " D " và đường kính " d " được gọi là *độ tụ*.

Mặt phản xạ nói chung được dùng gương tráng bạc, hoặc nhôm bốc hơi trong chân không phủ trên mặt kính hay chất dẻo, đôi khi còn được dùng phương pháp mạ điện phân niken trên kim loại v.v... Trong các thiết bị lớn như nhà máy điện Mặt Trời, công suất hàng nghìn kilowatt, thì mặt phản xạ thường được ghép bằng nhiều tấm gương phản xạ có kích thước từ 2 đến 4 m², và luôn được định hướng theo Mặt Trời, nên thường có kết cấu phức tạp, công kênh và đòi hỏi phải có độ vững chắc để chịu được sức gió to. Do các đặc điểm vừa nêu trên nên hiện nay loại thiết bị hội tụ dạng này còn chưa được phổ biến rộng rãi.

6.3.2. Định hướng theo Mặt Trời

Do đặc điểm của parabol là chỉ nhận chùm tia trực xạ, nên mặt hứng nắng phải được đặt sao cho trục tiêu của parabol phải chuyển động quay được theo cả hai phương:

Đông-Tây, và Nam - Bắc, để pháp tuyến của mặt phẳng hứng nắng luôn hướng về phía Mặt Trời. Trong một ngày thì mặt hứng nắng phải quay từ Đông sang Tây nên trục quay phải được đặt nằm ngang, và cố định theo phương Nam-Bắc. Còn khi theo dõi Mặt Trời cho tất cả các ngày trong năm thì trục quay parabol phải được đặt nằm ngang, hoặc nghiêng một góc tùy thuộc vào vĩ độ của Trái Đất, và phải quay được quanh một trục vuông góc với nó, tức là trục phải nằm theo phương Đông-Tây. Dưới đây ta khảo sát tất cả các trường hợp có thể xảy ra theo những mô hình khác nhau.

Mô hình I. Trục tiêu điểm nằm ngang theo phương Đông- Tây (E-W). Parabol quay quanh trục nằm ngang E-W. Hàng ngày vào đúng trưa phải điều chỉnh parabol để các tia trục xạ chiếu thẳng góc với mặt phẳng nhận nắng, tức là góc tới trùng với góc lệch δ của ngày ấy. Theo mô hình này thì mặt phẳng nhận là mặt phẳng tạo ảnh với các góc khác nhau $\gamma = 0^\circ$ hoặc $\gamma = 180^\circ$. Trường hợp $\gamma = 0$ xảy ra khi $(\varphi - \delta) > 0$ và $\gamma = 180^\circ$ xảy ra khi $(\varphi - \delta) < 0$. Để tìm góc nghiêng β cho mặt phẳng nhận vào lúc giữa trưa ($\omega = 0, \theta = 0$), từ phương trình (2.5.10) ta nhận được:

$$\beta = (\varphi - \delta) \text{ khi } \gamma = 0^\circ \quad (6.3.1a)$$

và
$$\beta = (\delta - \varphi) \text{ khi } \gamma = 180^\circ \quad (6.3.1b)$$

Các góc tới của tia trục xạ trên mặt phẳng nhận có thể xác định được bằng cách đặt các phương trình (6.3.1a, và 6.3.1b) vào phương trình (1.5.10). Đối với cả hai trường hợp, $\gamma = 0$ và $\gamma = 180^\circ$ ta nhận được hệ thức

$$\cos \theta = \sin^2 \delta + \cos^2 \delta \cos \omega \quad (6.3.2).$$

Mô hình II. Trục tiêu đặt theo phương Đông-Tây và nằm ngang. Parabol quay theo phương Đông-Tây và được điều chỉnh liên tục để sao cho tia trục xạ tới luôn tạo với pháp tuyến của mặt phẳng nhận một góc nhỏ nhất. Theo mô hình này thì độ nghiêng của mặt phẳng nhận cũng sẽ khác nhau khi $\gamma = 0^\circ$ hoặc $\gamma = 180^\circ$. Đặt các giá trị này vào phương trình (1.5.10) ta sẽ tìm được điều kiện thoả mãn với giá trị cực tiểu của góc tới θ , bằng cách lấy đạo hàm về phải của phương trình này đối với β và cho bằng không. Khi đó ta nhận góc nghiêng của mặt phẳng nhận bằng các biểu thức sau:

$$\operatorname{tg}(\varphi - \beta) = [l g \delta / \cos \omega] \text{ khi } \gamma = 0^\circ \quad (6.3.3a)$$

và
$$\operatorname{tg}(\varphi + \beta) = [l g \delta / \cos \omega] \text{ khi } \gamma = 180^\circ \quad (6.3.3b)$$

Từ các phương trình (6.3.3a, và 6.3.3b) ta có thể tìm được góc nghiêng β của mặt phẳng nhận. (6.3.3a) tương ứng với $\gamma = 0^\circ$ khi góc phương vị γ , nhỏ hơn 90° và (6.3.3b) ứng với $\gamma = 180^\circ$ nếu độ lớn của góc đỉnh của Mặt Trời lớn hơn 90° . Khi đặt các hệ thức (6.3.3a và 6.3.3b) vào (2.5.7) ta tìm được góc tới cho cả hai trường hợp bằng hệ thức.

$$\cos \theta = (1 - \cos^2 \delta \sin^2 \omega)^{1/2} \quad (6.3.4)$$

Mô hình III. Trục tiêu nằm ngang theo phương Bắc-Nam. Parabol quay quanh trục Bắc-Nam có điều chỉnh liên tục sao cho góc tới của tia trục xạ vào đúng trưa trên mặt phẳng nhận là nhỏ nhất. Theo mô hình này thì mặt góc phương vị lúc sáng sớm $\gamma = +90^\circ$, và lúc chiều tối $\gamma = -90^\circ$. Như vậy lúc giữa trưa phương trình (1.5.10) sẽ trở thành.

$$\cos \theta = (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega) \cos \beta + \cos \delta \sin \omega \sin \beta \quad (6.3.5)$$

Để tìm điều kiện thoả mãn với góc tới θ cực tiểu ta lấy đạo hàm về phải của phương trình (6.3.5) đối với β và cho bằng không ta sẽ được

$$\beta = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\cos \delta \sin \omega}{\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega} \right] \quad (6.3.6)$$

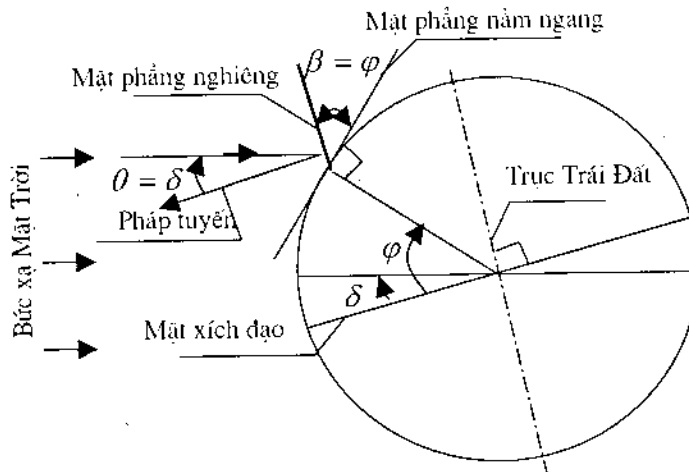
Phương trình (6.3.6) dùng để tìm góc nghiêng của mặt hứng nắng vào lúc sáng sớm. Để tính góc tới cực tiểu ta thay (6.3.6) vào (6.3.5) ta được biểu thức:

$$\cos \theta = [(\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega)^2 + \cos^2 \delta \sin^2 \omega]^{1/2} \quad (6.3.7)$$

và lúc chiều tối, tức là $\gamma = -90^\circ$, chúng ta nhận được

$$\beta = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{-\cos \delta \sin \omega}{\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega} \right] \quad (6.3.8)$$

Hệ thức tính $\cos \theta$ vẫn như trên.



Hình 6.3.3. Mô tả sự theo dõi của parabol trụ, ứng với trường hợp thứ tư.
Góc tới $\theta = \delta$

Mô hình IV. Trục tiêu đặt theo phương Bắc-Nam với góc nghiêng bằng vĩ tuyến. Như vậy trục của parabol nằm song song với trục của quả đất. Định hướng như vậy đôi

khi đưa tới cái gọi là *chống cực*. Tốc độ quay của parabol từ Đông sang Tây, bằng tốc độ quay của Quả Đất nhưng ngược chiều, với vận tốc góc $15''/\text{giờ}$. Khi đó điều chỉnh sao cho lúc đứng trưa mặt phẳng hứng nắng hướng về phía chính nam. Như vậy, ta đặt $\beta = \varphi$ và $\omega = 0$ vào (1.5.10) ta được

$$\theta = \delta \quad (6.3.9)$$

Như mô tả trên hình 6.3.3, vòng tròn thể hiện vĩ tuyến nơi đặt bộ thu. Tại mọi thời điểm khác nhau parabol quay quanh một trục song song với trục quay của Trái Đất, với tốc độ quay bằng tốc độ quay của Trái Đất. Rất phù hợp với phương trình (6.3.9)

Mô hình V. Trục tiêu đặt theo phương Bắc-Nam và nằm ngang. Parabol vừa quay liên tục quay quanh trục song song với trục tiêu (nhưng với vận tốc không đều), đồng thời quay quanh một trục nằm ngang vuông góc với trục này, như vậy sẽ điều chỉnh cho chùm tia trực xạ lúc nào cũng thẳng góc với mặt hứng nắng. Khi đó $\cos \theta = 1$, và dễ dàng tìm được

$$\beta = |\varphi - \delta| \quad (6.3.10)$$

Như vậy, mọi phương pháp vừa nêu trên đều dẫn tới làm cho tia tới của chùm tia trực xạ lúc nào cũng thẳng góc với mặt phẳng hứng nắng. Ta hãy làm phép so sánh bằng con số qua ví dụ dưới đây.

Ví dụ 6.1 Tính giá trị của bức xạ tới trên một mét vuông diện tích hứng nắng của một bộ thu parabol trụ được đặt ở $28,58^\circ\text{N}$ và $77,20^\circ\text{E}$, từ 6h đến 18h, ngày 10 tháng 6, theo năm mô hình điều chỉnh theo hướng Mặt Trời đã được nêu ở trên. Cường độ bức xạ trực xạ theo giờ được cho trong bảng dưới đây

Thời gian (h)	I_b (W/m^2)	Thời gian (h)	I_b (W/m^2)	Thời gian (h)	I_b (W/m^2)
06,30	110	10,30	495	14,30	445
07,30	240	11,30	550	15,30	322
08,30	333	12,30	523	17,30	220
09,30	424	13,30	495	16,30	118

Giải:

Ngày 10 tháng 6, $n = 162$ và $\delta = 23,012''$

Chúng ta tính ví dụ cho thời điểm lúc 10,30 từ phương trình (1.5.11):

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

Đối với phương án theo dõi I, áp dụng biểu thức (6.3.2) ta có:

$$\cos \theta_T = \sin^2 23,012 + \cos^2 23,032 \cos 22,5 = 0,9355$$

Do đó hệ số chuyển đổi R_b trên mặt phẳng hứng nắng là

$$R_b = \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_z} = \frac{0,9355}{0,9338} = 1,002$$

Cường độ bức xạ trực xạ tới trên mặt phẳng hứng nắng của bộ thu parabol

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

Tương tự tính cho các phương án khác còn lại, kết quả cho trong bảng dưới đây

	Các phương án theo dõi			
	II	III	IV	V
$\cos \theta$	0,9359	0,9980	0,9204	1,0000
R_b	1,0023	1,068	0,9857	1,0709
$I_b R_b (\text{W/m}^2)$	496,1	529,0	487,9	530,1

Các giá trị của $I_b R_b$ tính theo cường độ trực xạ cho tất cả các giờ trong ngày từ 6,00 đến 18,00 cho trong bảng 6.1 với giả thiết là lấy giá trị cường độ bức xạ trung bình cho từng giờ.

Từ kết quả ta thấy mô hình V cho giá trị $I_b R_b$ lớn nhất, vì theo phương án này thì các trục của parabol luôn điều chỉnh cho tia tới luôn trùng với pháp tuyến của mặt phẳng hứng nắng của parabol. Phương án này tại một vị tuyến xác định, điều khiển trục quay theo hướng Mặt Trời theo từng ngày trong năm, với cùng một số liệu bức xạ. So sánh kết quả tính toán theo các phương án được cho trong bảng 6.1.

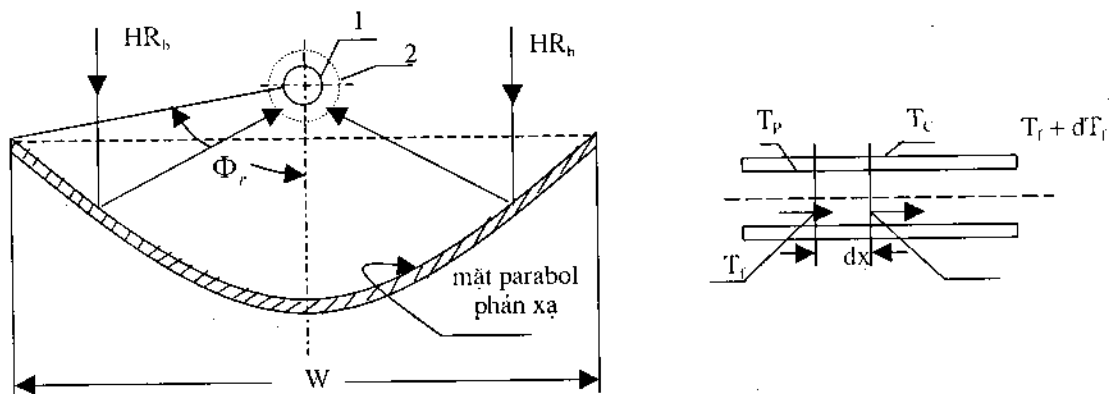
Trong các phương án trên thì các mô hình II, III, và IV là thường được chọn nhất. Mô hình V thì không thể vì việc điều khiển đồng thời cả hai trục quay nên rất phức tạp, còn mô hình I thì trường ảnh không hoàn toàn tập trung tại trục tiêu điểm.

Các mô hình II và III là đơn giản nhất vì các trục tiêu cùng nằm ngang, nên dễ dàng trong việc ghép nối các bộ thu thành một cụm liên hoàn để thuận tiện cho quá trình điều khiển hệ thống theo hướng Mặt Trời, và cuối cùng là không gian được sử dụng có hiệu quả hơn.

Giờ (h)	$I_b R_n (W/m^2)$				
	MH.I	MH.II	MH.III	MH.IV	MH.V
0 630	99,1	153,8	360,4	346,1	376,1
0 730	230,7	254,5	476,1	445,1	483,6
0 830	327,9	335,0	489,0	451,3	490,0
0 930	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
Cộng (kWh/m ²)	4,227	4,404	5,807	5,399	5,866

6.3.3. Tính hiệu suất

Bây giờ chúng ta phân tích cách tính hiệu suất của bộ thu dạng parabol trụ, mà mặt hứng nắng có bề rộng W , chiều dài L và góc mép (nửa góc mở) Φ_r (hình 6.3.4)



Hình 6.3.4. Mặt cắt ngang của bộ thu parabol trụ:

1- ống hấp thụ; 2- ống thủy tinh bọc ngoài;

HR_b - bức xạ trực xạ.

Ống hấp thụ có đường kính trong D_i và đường kính ngoài D_o . Ống hấp thụ được bao chung quanh bằng một ống thủy tinh với đường kính trong D_{ci} và đường kính ngoài

D_{co} . Lưu lượng của chất tải nhiệt chảy trong ống có khối lượng m , nhiệt dung riêng C_p , nhiệt độ chất lỏng đầu vào $T_{L,i}$, và đầu ra $T_{L,o}$.

Bộ thu hoạt động theo các mô hình đã được mô tả trên hình 6.3.4. Tia bức xạ trực xạ chiếu vuông góc với mặt hứng nắng của bộ thu là $I_b R_b$, mà giá trị của nó được tính như đã trình bày trong mục 6.2. Giả thiết rằng ảnh phản xạ của tia trực xạ luôn hội tụ trên một đường thẳng dọc theo suốt chiều dài ống hấp thụ. Trong thực tế chiều dài ống thường dài hơn chiều dài của mặt parabol một ít (khoảng 10%), và cường độ ảnh phản xạ không hoàn toàn đồng đều trên cả chiều dài ống. Để đơn giản trong tính toán chúng ta coi ảnh phản xạ hội tụ trên ống bằng chiều dài của parabol, và chúng ta cũng giả thiết rằng sự sai khác về nhiệt độ trên một tiết diện ngang giữa kính bao và ống hấp thụ là không đáng kể, có thể bỏ qua.

Tỉ số tập trung (độ hội tụ) được cho bởi công thức

$$C = \frac{\text{diện tích thực của mặt hứng nắng}}{\text{diện tích ống hấp thụ}} = \frac{(W - D_o)L}{\pi D_o L} = \frac{(W - D_o)}{\pi D_o} \quad (6.3.11)$$

Các bước tính toán trong trường hợp này cũng tương tự như đã tiến hành đối với bộ thu phẳng. Phương trình cân bằng năng lượng trên một phần tử dx chiều dài ống hấp thụ được cho bởi phương trình

$$dq_u = [I_b R_b (W - D_o) \rho \gamma (\tau \alpha)_b + I_b R_b D_o (\tau \alpha)_b - U_L \pi (D_o (T_p - T_a))] dx \quad (6.3.12)$$

trong đó: dq_u là nhiệt lượng có ích nhận được trên chiều dài dx ;

ρ là hệ số phản xạ của mặt parabol;

γ là hệ số tổn thất quang, do một phần tia phản xạ tới ống hấp thụ bị chặn bởi ống kính bọc ngoài ;

$(\tau \alpha)_b$ là giá trị trung bình của tích hấp thụ truyền qua của bức xạ trực xạ;

U_L là hệ số tổn thất nhiệt toàn phần;

T_p, T_a là nhiệt độ tấm hấp thụ và nhiệt độ môi trường tương ứng.

Số hạng đầu tiên bên vế phải của phương trình (6.3.12) là năng lượng mà mặt hấp thụ có chiều rộng $(W - D_o)$ nhận được, số hạng thứ hai là bức xạ tới rơi trực tiếp trên ống hấp thụ, giá trị của số hạng này nhỏ hơn giá trị số hạng thứ nhất nhưng không thể bỏ qua khi tỉ số hội tụ nhỏ. Số hạng thứ ba là tổn thất nhiệt do đối lưu và bức xạ.

Tương tự như khi tính đối với bộ thu phẳng, thông lượng hấp thụ trên ống hấp thụ được định nghĩa bằng công thức

$$S = I_b R_b \rho \gamma (\tau \alpha)_b + I_b R_b D_o (\tau \alpha)_b \left(\frac{D_o}{W - D_o} \right) \quad (6.3.13)$$

Khi đó phương trình (6.3.12) trở thành

$$dq_u = \left[S - \frac{U_L}{C} (T_p - T_a) \right] (W - D_0) dx \quad (6.3.14)$$

Ta có thể viết phương trình này dưới dạng khác như sau:

$$dq_u = h_f \pi D_i (T_p - T_f) dx \quad (6.3.15)$$

$$= \dot{m} C_p dT_f \quad (6.3.16)$$

trong đó: h_f = hệ số toả nhiệt giữa mặt trong của ống và chất lỏng;

T_f = nhiệt độ của chất lỏng.

Tổng hợp các phương trình (6.3.14) và (6.3.15) và thay nhiệt độ tắm hấp thụ bằng nhiệt độ chất lỏng ta được

$$dq_u = F' \left[S - \frac{U_L}{C} (T_f - T_a) \right] (W - D_0) dx \quad (6.3.17)$$

ở đây F' = hiệu suất hiệu dụng của bộ thu và được định nghĩa bằng công thức

$$F' = \frac{1}{U_L \left[\frac{1}{U_L} + \frac{D_0}{D_i h_f} \right]} \quad (6.3.18)$$

Từ (6.3.16) và (6.3.17) ta nhận được phương trình vi phân

$$\frac{dT_f}{dx} = \frac{F' \pi D_0 U_L}{\dot{m} C_p} \left[\frac{CS}{U_L} - (T_f - T_a) \right] \quad (6.3.19)$$

Lấy tích phân theo điều kiện biên khi $x=0$, $T_f = T_{f,i}$ ta nhận được phương trình phân bố nhiệt độ

$$\frac{\left(\frac{CS}{U_L} + T_a \right) - T_f}{\left(\frac{CS}{U_L} + T_a \right) - T_{f,i}} = \exp \left(- \frac{F' \pi D_0 U_L x}{\dot{m} C_p} \right) \quad (6.3.20)$$

Khi cho $x=L$ và nhiệt độ đầu ra của chất lỏng $T_f = T_{f,o}$ và cả hai vế của phương trình (6.3.20) đều lấy một đơn vị trừ cho biểu thức hiện tại và quy đồng mẫu số của vế trái ta nhận được

$$\frac{(T_{f,0} - T_{f,i})}{\frac{CS}{U_L} + T_a - T_{f,i}} = 1 - \exp\left(-\frac{F' \pi D_0 U_L L}{\dot{m} C_p}\right) \quad (6.3.21)$$

Như vậy, nhiệt hiệu dụng được tính theo biểu thức

$$\begin{aligned} q_u &= \dot{m} C_p (T_{f,0} - T_{f,i}) \\ &= \dot{m} C_p \left[\frac{CS}{U_L} + T_a - T_{f,i} \right] \left[1 - \exp\left(-\frac{F' \pi D_0 U_L L}{\dot{m} C_p}\right) \right] \\ &= F_R (W - D_0) L \left[S - \frac{U_L}{C} (T_{f,i} - T_a) \right] \end{aligned} \quad (6.3.22)$$

ở đây F_R - thừa số thoát nhiệt được định nghĩa bởi biểu thức

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{\pi D_0 L U_L} \left[1 - \exp\left(-\frac{F' \pi D_0 U_L L}{\dot{m} C_p}\right) \right] \quad (6.3.23)$$

Phương trình (6.3.23) tương đương với phương trình (4.4.27) của Hottel-Whillier-Bliss đối với bộ thu phẳng.

Hiệu suất tức thời η_i được tính theo công thức

$$\eta_i = \frac{q_u}{(I_b R_b + I_d R_d) WL} \quad (6.3.24)$$

Nếu bỏ qua bức xạ khuếch tán phản xạ từ mặt đất $I_d R_d$ thì hiệu suất tức thời bằng

$$\eta_i = \frac{q_u}{I_b R_b WL} \quad (6.3.25)$$

6.3.4. Hệ số tổn thất nhiệt toàn phần và các hệ thức truyền nhiệt

Trong mục này chúng ta sẽ tính hệ số tổn thất nhiệt toàn phần U_L và các hệ thức cần thiết để tính các hệ số truyền nhiệt riêng cho từng bộ phận. Việc tính tổn thất nhiệt toàn phần cũng dựa trên cơ sở đối lưu và bức xạ, tương tự như đã làm trước đây trong chương 4 đối với tổn thất nhiệt lên phía trên. Chúng ta coi ống hấp thụ và kính bọc chung quanh là một hệ, mà ống được đặt ở giữa, thì tổn thất nhiệt trên một đơn vị dài được tính bằng công thức

$$\frac{q_l}{L} = h_{p-c} (T_{pm} - T_c) \pi D_0 + \frac{\sigma \pi D_0 (T_{pm}^4 - T_c^4)}{\left\{ \frac{1}{\epsilon_p} + \frac{D_0}{D_{ci}} \left(\frac{1}{\epsilon_c} - 1 \right) \right\}} \quad (6.3.26)$$

$$= h_w (T_c - T_a) \pi D_{co} + \sigma \pi D_{co} \epsilon_c (T_c^4 - T_{bt}^4) \quad (6.3.27)$$

trong đó: q/L = tổn thất nhiệt trên một đơn vị dài ;

h_{p-c} = hệ số truyền nhiệt đối lưu giữa tấm hấp thụ và kính đáy;

T_{pm} = nhiệt độ trung bình của ống hấp thụ;

T_c = nhiệt độ của tấm kính ;

T_{bt} = nhiệt độ bầu trời.

Những ký hiệu còn lại như đã được định nghĩa trước đây. Các phương trình (6.3.26) và (6.3.27) là những phương trình không tuyến tính có hai biến số, đó là (q/L) và T_c . Nghiệm của các biến số này sẽ nhận được sau khi thay thế các giá trị của h_{p-c} và h_w . Việc xác định các hệ số h_{p-c} và h_w được tiến hành như sau:

a- Hệ số truyền nhiệt giữa tấm hấp thụ và kính

Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu h_{p-c} trong khoảng không gian bao quanh giữa ống hấp thụ nằm ngang và ống kính bọc ngoài được tính theo hệ thức Raithby và Holands

$$\frac{k_{eff}}{k} = 0,317(Ra^*)^{1/4} \quad (6.3.28)$$

trong đó: k_{eff} = độ dẫn nhiệt hiệu dụng được định nghĩa như là độ dẫn nhiệt mà các phân tử khí chuyển động trong khe hẹp phải trao đổi nhiệt với nhau, và

Ra^* = số Raithby hiệu chỉnh có liên quan đến việc sử dụng số Rayleigh bằng hệ thức sau

$$(Ra^*)^{1/4} = \frac{\ln(D_{ci}/D_0)}{b^{3/4} \left(\frac{1}{D_0^{3/5}} + \frac{1}{D_{ci}^{3/5}} \right)^{5/4}} Ra^{1/4} \quad (6.3.29)$$

Kích thước đặc trưng được dùng để tính số Rayleigh là bề rộng khe có tiết diện hình vành khăn $b = (D_{ci} - D_0)/2$. Các đặc trưng được xác định ở nhiệt độ trung bình $(T_{pm} + T_c)/2$. Điều đó có nghĩa rằng độ dẫn nhiệt hiệu dụng k_{eff} không thể nhỏ hơn độ dẫn nhiệt k . Vì khi cho (k_{eff}/k) bằng đơn vị thì kết quả nhận được từ phương trình (6.3.28) sẽ nhỏ hơn đơn vị, điều này là không phù hợp. Mối liên hệ giữa hệ số trao đổi nhiệt h_{p-c} và độ dẫn nhiệt hiệu dụng có thể được xác định bằng hệ thức cân bằng đối với tốc độ trao đổi nhiệt trên một đơn vị dài sau đây

$$\frac{2\pi k_{\text{eff}}}{\ln(D_{\text{ci}}/D_0)}(T_{\text{pm}} - T_c) = h_{\text{p-c}} \pi D_0 (T_{\text{pm}} - T_c)$$

hay
$$h_{\text{p-c}} = \frac{2k_{\text{eff}}}{D_0 \ln(D_{\text{ci}}/D_0)} \quad (6.3.30)$$

Giới hạn sử dụng phương trình (6.3.28) là $Ra^* < 10^7$ và $b < 0,3D_0$.

b- Hệ số trao đổi nhiệt trên mặt ngoài của ống kính

Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu h_w ở mặt ngoài của ống kính bao quanh ống hấp thụ (đôi khi còn gọi là hệ số trao đổi nhiệt với gió), với giả thiết gió thổi dọc theo trục tiêu của parabol trụ thì có thể dùng công thức thực nghiệm nổi tiếng của Hilper liên hệ qua số Nusselt như sau

$$Nu = C_1 Re^n \quad (6.3.31)$$

ở đây, C_1 và n là những hằng số chúng có các giá trị sau:

Khi $40 < Re < 4.000$,	$C_1 = 0,615$,	$n = 0,466$
khi $4.000 < Re < 40.000$,	$C_1 = 0,174$,	$n = 0,618$
khi $40.000 < Re < 400.000$	$C_1 = 0,0239$,	$n = 0,805$

D_w là kích thước đặc trưng để dùng trong phương trình (6.3.31), được tính với nhiệt độ trung bình $(T_c + T_a)/2$.

Chú ý rằng, phương trình (6.3.31) nhận được ở mức độ chảy rối thấp. Trong thực tế mức độ rối đối với gió trên mặt kính là không đáng kể nên có thể bỏ qua. Khi đó độ tin cậy của phương trình (6.3.31) sẽ giảm từ 10-15%. Tuy nhiên sự giảm độ tin cậy này cũng chỉ làm giảm giá trị của tổn thất nhiệt toàn phần từ 1-2%.

c- Hệ số tỏa nhiệt ở mặt trong của ống hấp thụ

Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu h_i ở mặt trong của ống hấp thụ có thể được tính với giả thiết dòng chảy luôn luôn là *chảy đầy*. Bởi vì tỷ số chiều dài trên đường kính (L/D_i) là rất lớn, thường lớn hơn 20 lần. Khi số Reynolds nhỏ hơn 2.000 thì dòng chảy ở chế độ chảy tầng và hệ số trao đổi nhiệt có thể được tính từ phương trình

$$Nu = 3,66 \quad (6.3.32)$$

Mặt khác khi số Reynolds lớn hơn 2000 là chế độ chảy rối, khi đó hệ số trao đổi nhiệt có thể tính bằng công thức Dittus - Boelter

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (6.3.33)$$

Kích thước đặc trưng dùng để tính số Nu và Re trong các phương trình (6.3.32) và (6.3.33) là D_i . Nhiệt độ đặc trưng bằng $(T_{ti} + T_{to})/2$. Cần lưu ý là các phương trình (6.3.32) và (6.3.33) cũng phù hợp để tính giá trị h_i trong bộ thu phẳng.

Trong nhiều trường hợp khi lưu lượng $\dot{m}$ nhỏ và chảy chậm người ta thường dùng phương trình (6.3.32). Đôi khi giá trị của h_i quá nhỏ chỉ bằng nghịch đảo của thừa số lưu thông F_R . Điều này đặc biệt đúng khi chất lỏng tải nhiệt là dầu. Các loại dầu có điểm sôi cao nhưng độ dẫn nhiệt lại thấp và có số Prandtl cao. Trong trường hợp đó người ta thường áp dụng biện pháp kỹ thuật để tăng hệ số trao đổi nhiệt. Một trong những kỹ thuật đơn giản là dùng băng xoắn có đường kính D_i đặt bên trong dọc suốt chiều dài ống hấp thụ. Hong và Bergles đề nghị nên dùng hệ thức dưới đây để tính cho trường hợp này.

$$Nu = 5,172[1 + 0,005484 \{Pr(Re/X)^{1,78}\}^{0,7}]^{0,5} \quad (6.3.34)$$

trong đó $X =$ tỷ số xoắn $= H/D_i$ và

$H =$ Chiều dài băng khi xoắn một góc 180°

Kích thước đặc trưng dùng để tính số Nu và Re là D_i . Kết quả tính theo phương trình (6.3.34) khi dùng băng xoắn cho thấy hệ số trao đổi nhiệt tăng rất đáng kể, trong khi số Prandtl vẫn cao mà độ giảm áp lại không tăng theo tỷ lệ tương ứng. Độ giảm áp có thể tính bằng công thức thực nghiệm của Date và Singham dưới đây.

$$\begin{aligned} fRe &= 38,4(Re/X)^{0,05} && \text{ứng với } 6,7 \leq (Re/X) \leq 100 \\ &= C_2(Re/X)^{0,3} && \text{ứng với } (Re/X) > 100 \end{aligned} \quad (6.3.35)$$

ở đây $f =$ hệ số ma sát,

$$C_2 = 8,8201X - 2,1193X^2 + 0,2108X^3 - 0,0069X^4$$

Ví dụ 6.2

Tính hệ số tổn thất nhiệt toàn phần U_L của hệ thống nhận trong bộ thu parabol trụ. Hệ thống nhận gồm ống có phủ một lớp hấp thụ lựa chọn, có vỏ kính bọc chung quanh ống với các số liệu cho như sau:

- đường kính trong và ngoài của ống hấp thụ tương ứng 7,5cm và 8,1cm;
- đường kính trong và ngoài của ống kính bao quanh 14,4cm và 15,5cm;
- hệ số phát xạ của mặt ống hấp thụ $= 0,15$;
- hệ số phát xạ của kính $= 0,88$;
- nhiệt độ trung bình của ống hấp thụ $= 170^\circ\text{C}$;
- nhiệt độ môi trường $= 25^\circ\text{C}$;
- tốc độ gió $= 4\text{m/s}$;

Thay các số liệu đã cho trên đây vào phương trình (6.3.26) và (6.3.27) ta nhận được

$$\frac{q_1}{L} = h_{p-c}(443,2 - T_c)\pi 0,081 + \frac{5,67 \cdot 10^{-8} \pi 0,081 (443,2^4 - T_c^4)}{\left\{ \frac{1}{0,15} + \frac{0,081}{0,144} \left(\frac{1}{0,88} - 1 \right) \right\}}$$

$$= 0,2545 h_{p-c}(443,2 - T_c) + 0,2140 \cdot 10^{-8} (385,8 \cdot 10^8 - T_c^4) \quad (6.3.36)$$

$$\frac{q_1}{L} = h_w (T_c - 298,2) \pi \times 0,15 + 5,67 \cdot 10^{-8} \pi \times 0,15 \times 0,88 (T_c^4 - 292,2^4)$$

$$= 0,4712 h_w (T_c - 298,2) + 2,3513 \cdot 10^{-8} (T_c^4 - 72,90 \cdot 10^8) \quad (6.3.37)$$

Giải các phương trình (6.3.36) và (6.3.37) cho ta nghiệm của các biến số (q_1/L) và T_c . Để giải phương trình trước hết ta phải xác định các hệ số trao đổi nhiệt h_{p-c} và h_w nhưng các hệ số này cũng phụ thuộc T_c . Do vậy ta phải dùng phương pháp lặp với giả thiết ban đầu $T_c = 310K$.

- Tính h_{p-c}

Nhiệt độ trung bình giữa ống và kính

$$T_{o-k} = (443 + 310)/2 = 103,4^\circ C$$

Ở nhiệt độ này: hệ số dẫn nhiệt của khí $k=0,0323W/mK$; $\nu = 23,52 \cdot 10^{-6} m^2/s$;

$$Pr = 0,688$$

$$Ra = 9,81 \frac{1}{376,6} \frac{(443,2 - 310)(0,0315)^3}{(23,52)^2 10^{-12}} - 0,688 = 134.877$$

Từ phương trình (6.3.28)

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

và từ phương trình (6.3.30)

$$h_{p-c} = \frac{2 \times 3,6349 \times 0,0323}{0,081 \ln(0,144/0,081)} = 5,036 W/m^2 K$$

- Tính h_w

Nhiệt độ trung bình của khí giữa kính và môi trường

$$T_{k-a} = \frac{310 + 298,2}{2} = 304,1K = 30,9^{\circ}C$$

Ở nhiệt độ này: độ dẫn nhiệt của khí $k = 0,0268W/m.K$; $\nu = 16,09.10^{-6}m^2/s$.

Giả thiết rằng gió thổi dọc theo trục tiêu parabol trụ, ta có thể dùng phương trình (6.3.31)

$$Re = \frac{4 \times 0,15}{16,09.10^{-6}} = 37.300$$

$$Nu = 0,174(37.300)^{0,618} = 116,4$$

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

Thay các giá trị h_{p-c} và h_w vào (6.3.36) và (6.3.37) ta tính được T_c và (q/L) , bằng cách mò mẫm, và nhận được các kết quả như đã cho trong bảng dưới đây

Nhiệt độ kính bao $T_c(K)$	(q/L)	
	Pt.(6.3.26)	Pt.(6.3.27)
310	233,5	161,3
315	225,9	224,7
315,1	225,6	226,0

Các giá trị ở dòng cuối cùng của (q/L) tính theo hai phương trình có khác nhau chút ít, nên ở đây giá trị trung bình cộng 225,8 là có thể chấp nhận được. Từ đó ta thấy các giá trị của h_{p-c} và h_w sẽ không bị thay đổi nhiều khi thay giá trị nhiệt độ giả định ban đầu $T_c = 310K$ bằng giá trị tính toán được là 315,1K nên không cần thiết phải tính lại các hệ số trao đổi nhiệt này. Từ đó tính cho hệ số tổn thất nhiệt toàn phần

$$U_l = \frac{225,8}{\pi 0,018(170 - 25)} = 6,12W/m^2.K$$

d- Phương trình kinh nghiệm để tính tổn thất nhiệt toàn phần

Dựa trên cơ sở tính toán thiết kế cho nhiều hệ thu parabol trụ, Mullick và Nand đã triển khai một phương trình bán thực nghiệm dưới đây để tính tổn thất nhiệt toàn phần. Phương trình này đã giảm được các phép tính trung gian,

$$\frac{1}{U_t} = \frac{1}{C_3(T_{pm} - T_c)^{0.25} + \left[\sigma(T_{pm}^2 + T_c^2)(T_{pm} + T_c) / \left\{ \frac{1}{\epsilon_p} + \frac{D_0}{D_{ci}} \left(\frac{1}{\epsilon_c} - 1 \right) \right\} \right]} + \left(\frac{D}{D_{co}} \right) \left(\frac{1}{h_w + \sigma \epsilon (T_c^2 + T_a^2)(T_c + T_a)} \right) \quad (6.3.38)$$

Hằng số C_3 nhận được theo hệ thức Raithby và Holland cho bởi công thức

$$C_3 = \frac{17,74}{(T_{pm} + T_c)^{0.4} D_0 (D_0^{-0.75} + D_{ci}^{-0.75})} \quad (6.3.39)$$

Nhiệt độ của kính được cho bởi:

* Nếu $333 < T_{pm} < 513K$ thì dùng hệ thức

$$\left(\frac{T_c - T_a}{T_{pm} - T_a} \right) = 0,04075 \left(\frac{D_0}{D_{co}} \right) h_w^{-0.67} \left[2 - 3\epsilon_p + \frac{(6 + 9\epsilon_p)T_{pm}}{100} \right] \quad (6.3.40)$$

* Nếu $513 < T_{pm} < 623K$ thì dùng hệ thức

$$\left(\frac{T_c - T_a}{T_{pm} - T} \right) = 0,163 \left(\frac{D_0}{D_{co}} \right)^{0.4} h_w^{-0.67} \left[2 - 3\epsilon_p + \frac{(6 + 3\epsilon_p)T_{pm}}{100} \right] \quad (6.3.41)$$

Khi dùng các phương trình từ (6.3.38) đến (6.3.41) nhiệt độ T_{pm} , T_c và T_a tính theo đơn vị (K), các kích thước tính bằng (m), σ ($W/m^2.K^4$), và h_w ($W/m^2.K$). Giá trị U_t sẽ được tính là ($W/m^2.K$). Phương trình (6.3.38) thỏa mãn đối với các thông số có giá trị nằm trong các khoảng giới hạn dưới đây:

$$0,1 \leq \epsilon_p \leq 0,95$$

$$0,0125 \leq D_0 \leq 0,15m$$

$$15 \leq h_w \leq 60W/m^2.K$$

$$273 \leq T_a \leq 313K$$

Các phương trình (6.3.40) và (6.3.41) cho phép ước lượng sai khác nhiệt độ của kính bao khoảng $\pm 10^\circ C$. Tuy nhiên sai khác này cũng chỉ gây sai số bằng $\pm 1\%$ khi áp dụng phương trình (6.3.38) với nhiệt độ nằm trong khoảng $333 < T_{pm} < 513K$, và bằng $\pm 2\%$ với nhiệt độ nằm trong khoảng $513 < T_{pm} < 623K$.

Dưới đây ta sẽ áp dụng các phương trình trên để tính toán chi tiết đối với thiết bị thu parabol trụ bằng các số liệu cụ thể.

Ví dụ 6.3. Một thiết bị thu dạng parabol trụ đặt ở vĩ độ $19,12^0$ hoạt động theo mô hình II được dùng để đun nóng chất tải nhiệt. Parabol có khẩu độ 1,25m, chiều dài 3,657m, với ống hấp thụ có đường kính trong 3,81cm, đường kính ngoài 4,135cm. Một ống kính bọc ngoài ống hấp thụ có đường kính trong 5,6cm và đường kính ngoài 6,3cm. Một băng xoắn có tỷ số xoắn bằng 4 được đặt bên trong ống hấp thụ. Giá trị của các thông số dùng để thiết kế bộ thu cho dưới đây

Hệ số phản xạ trên mặt parabol	= 0,85
Hệ số truyền qua của kính bao đối với BXMT	= 0,85
Hệ số phát xạ và hấp thụ của kính đều bằng	= 0,88
Hệ số phát xạ và hấp thụ của ống hấp thụ	= 0,95
Thừa số tiếp nhận	= 0,95

Giá trị các thông số về thời gian và khí tượng như sau:

• Ngày	= 15/4
• Thời điểm lúc	= 12h30
• Bức xạ trực xạ I_b	= 705 W/m^2
• Tổng xạ I_g	= 949 W/m^2
• Nhiệt độ môi trường	= $31,9^0\text{C}$
• Tốc độ gió	= $5,3 \text{ m/s}$
• Lưu lượng chất tải nhiệt	= $0,0986 \text{ kg/s}$
• Nhiệt độ đầu vào	= 150^0C

Hãy tính:

1. Độ nghiêng của mặt phẳng hứng nắng và góc tới trên mặt phẳng này;
2. Thông lượng hấp thụ S;
3. Hệ số truyền nhiệt đối lưu giữa kính và ống hấp thụ;
4. Thừa số thoát nhiệt và hệ số tổn thất nhiệt toàn phần;
5. Nhiệt độ đầu ra của chất tải nhiệt;
6. Hiệu suất tức thời;
7. Độ sụt áp.

1. Độ nghiêng của mặt phẳng hứng nắng và góc tới

Theo mô hình II thì góc nghiêng của mặt phẳng hứng nắng và góc tới được cho bởi các công thức (6.3.3) và (6.3.4),

Ngày 15/4, $n = 106$, nếu lấy ngày 1/1 làm ngày chuẩn, thì dùng công thức

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + 106)}{365}\right) = 9,783^\circ$$

hoặc $n = 105$ nếu lấy ngày 1 tháng giêng làm chuẩn thì dùng công thức.

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360}{365} (284 + 105)\right) = 9,415^\circ$$

Thay thế $\delta = 9,415^\circ$, $\omega = -7,5^\circ$ và $\varphi = 19,12^\circ$ vào phương trình (6.3.13) ta nhận được

$$\beta = 9,625^\circ$$

và

$$\cos \theta = [1 - \cos^2 9,415^\circ \sin^2(-7,5^\circ)]^{1/2} = 0,9917$$

$$\theta = 7,398^\circ$$

2. Thông lượng hấp thụ S

Từ phương trình (3.3.29) tính được

$$R_h = \frac{0,9917}{\sin 19,12^\circ \sin 9,415^\circ + \cos 19,12^\circ \cos 9,415^\circ \cos(-7,5^\circ)} = 1,0143$$

Thay giá trị này vào (6.3.3) và thừa nhận $(\tau\alpha) = \tau\alpha$ chúng ta có được

$$S = 05 \times 1,0413 \left[0,85 \times 0,95 \times 0,85 \times 0,95 + \frac{0,85 \times 0,95 \times 0,04135}{1,25 - 0,01435} \right] = 486,03 \text{ W/m}^2$$

3. Tính hệ số trao đổi nhiệt đối lưu h_f

Dùng phương trình (6.3.34) để tính h_f . Từ hình 6.3.5 ta thấy rằng các đại lượng đặc trưng riêng của chất tải nhiệt thay đổi không đáng kể khi nhiệt độ của chất tải nhiệt thay đổi, điều đó có nghĩa rằng nhiệt độ trung bình của chất tải nhiệt có thể lấy là 152°C . Như vậy, ở nhiệt độ này ta có:

$$\rho = 730,3 \text{ kg/m}^3, C_p = 2,449 \text{ kJ/kg.K}, \nu = 2,42 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}, k = 0,119 \text{ W/m.K}$$

$$\text{Vận tốc trung bình } V = \frac{\dot{m}}{\frac{\pi}{4} D_i^2 \rho} = \frac{0,0986}{\frac{\pi}{4} (0,0381)^2 730,3} = 0,1153 \text{ m/s}$$

$$\text{Số Reynolds } Re = \frac{VD_i}{\nu} = \frac{0,1153 \times 0,0381}{2,42 \cdot 10^{-6}} = 1815$$

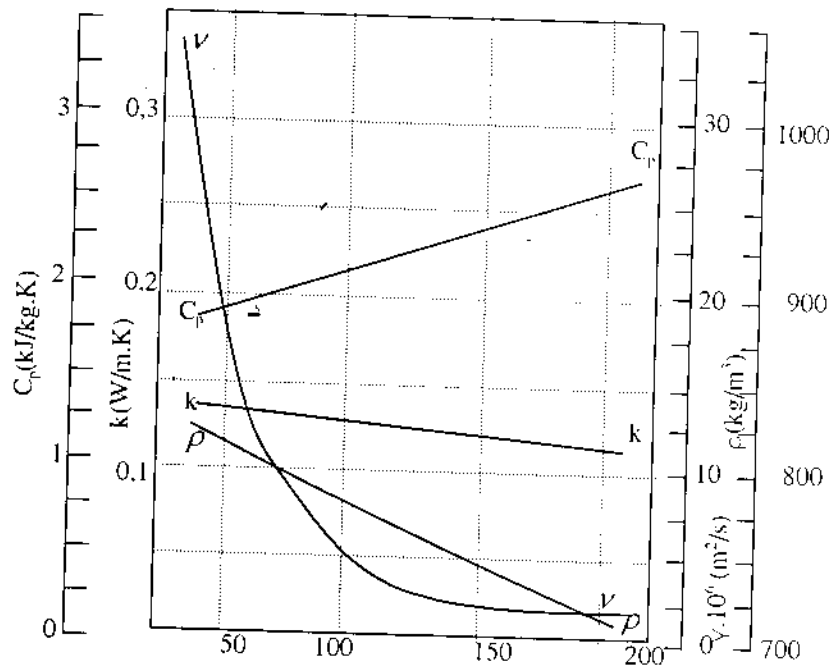
Số Prandtl

$$Pr = \frac{C_p \nu p}{k} = \frac{2,449 \times 2,42 \cdot 10^{-6} \times 750,3 \times 1000}{0,119} = 37,37$$

Số Nusselt

$$Nu = 5,172 \left[1 + 0,005484 \left\{ 37,37 \left(\frac{1815}{4} \right)^{1,78} \right\}^{0,5} \right]$$

Từ đó tính được $h_f = 61,70 \frac{0,119}{0,0381} = 192,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$



Hình 6.3.5. Các tính chất đặc trưng của chất tải nhiệt.

4. Hệ số thoát nhiệt và tổn thất nhiệt toàn phần.

Tương tự như trong bộ thu phẳng là ta không thể tính trực tiếp giá trị của F_k và U_L vì các giá trị này cũng phụ thuộc vào các đại lượng khác.

Giả định giá trị $U_L = 13,28 \text{ W/m}^2 \text{K}^*$. Từ phương trình (6.3.18) ta tính được hiệu suất hiệu dụng

$$F' = \frac{1}{13,28 \left[\frac{1}{13,28} + \frac{0,04135}{0,0381 \times 192,7} \right]} = 0,9304$$

$$\frac{\dot{m}C_p}{\pi D_0 U_L L} = \frac{0,0986 \times 2,449.10^3}{\pi \times 0,04135 \times 13,28 \times 3,657} = 38,275$$

Từ đó, theo (6.3.23) ta tính được thừa số thoát nhiệt

$$F_R = 38,275[1 - \exp(-0,9304/38,275)] = 0,9192$$

$$\text{Tỉ số độ hội tụ } C = \frac{(1,25 - 0,04135)}{\pi \times 0,04135} = 9,304$$

Ta nhận được nhiệt có ích

$$q_u = 0,9192(1,25 - 0,04135)3,657 \left[486,03 - \frac{13,28}{9,304}(150 - 31,9) \right] = 1.289,8W$$

Từ đây ta có thể tính được tổn thất nhiệt theo biểu thức

$$(W - D_0)LS - q_u = (1,25 - 0,04135) \times 3,657 \times 486,03 - 1289,8 = 858,46$$

Nhiệt tổn thất này cũng có thể tính bằng công thức

$$858,46 = \pi D_0 L U_L (T_{pm} - T_a)$$

$$\text{từ đó ta có } (T_{pm} - T_a) = \frac{858,46}{\pi \times 0,04135 \times 3,657 \times 13,28} = 136,07^\circ C \text{ và}$$

$$T_{pm} = (136,07 + 31,9)^\circ C = 167,97^\circ C = 441,13K$$

Nếu ta tính giá trị của U_L theo nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ T_{pm} thì thấy rằng giá trị này cũng xấp xỉ giá trị giả định ban đầu.

Theo ví dụ 2 ta cũng đã giả định nhiệt độ của kính

$$T_c = 60,23^\circ C = 333,39K$$

Từ phương trình (6.3.28) và (6.3.30) ta nhận được

$$h_{p-c} = 5,113W/m^2K$$

Từ phương trình (6.3.31)

$$h_w = 34,119W/m^2K$$

Thay các giá trị T_c , h_{p-c} và h_w vào các phương trình (6.3.36) và (6.3.37)

$$\begin{aligned} \frac{q_L}{L} &= 5,113(441,13 - 333,39)\pi \times 0,04135 + \frac{5,67.10^{-8}\pi 0,04135(441,13^4 - 333,39^4)}{- \left\{ \frac{1}{0,95} + \frac{0,04135}{0,0560} \left(\frac{1}{0,88} - 1 \right) \right\}} = \\ &= 234,5W/m \end{aligned}$$

$$\frac{q_L}{L} = 34,119(333,39-305,06)\pi \times 0,063 + 5,67 \cdot 10^{-8} \times 0,063 \times 0,88(333,39^4 - 299,06^4)$$

$$= 234,5 \text{ W/m}^2$$

Các giá trị q_L/L nhận được từ hai biểu thức khác nhau đều có giá trị như nhau, vậy hệ số tổn thất năng lượng

$$U_L = \frac{234,5}{\pi 0,04135(441,13 - 305,06)} = 13,27 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

5- Nhiệt độ đầu ra.

Từ nhiệt có ích q_u mà chất tải nhiệt đã nhận được ta có thể tính được nhiệt độ đầu ra bằng biểu thức

$$0,0986 \times 2,449(T_{fo} - 150) = \frac{1289,8}{1000}$$

Từ đó $T_{fo} = 155,34^\circ\text{C}$

6- Tính hiệu suất tức thời.

Từ phương trình (6.3.24)

$$\eta_i = \frac{1289,8}{(705 \times 1,0143 + 144 \times 0,9930)1,25 \times 3,657} = 0,295$$

Từ phương trình (6.3.15)

$$\eta_{ib} = \frac{1289,8}{705 \times 1,0143 \times 1,25 \times 3,657} = 0,395$$

7- Độ sụt áp

Theo phương trình (6.3.34) ta nhận được

$$\frac{Re}{X} = \frac{1815}{4} = 453,75$$

$$C_2 = 13,0964$$

Từ đó $fRe = 13,0964(453,75)^{0,3} = 82,069$

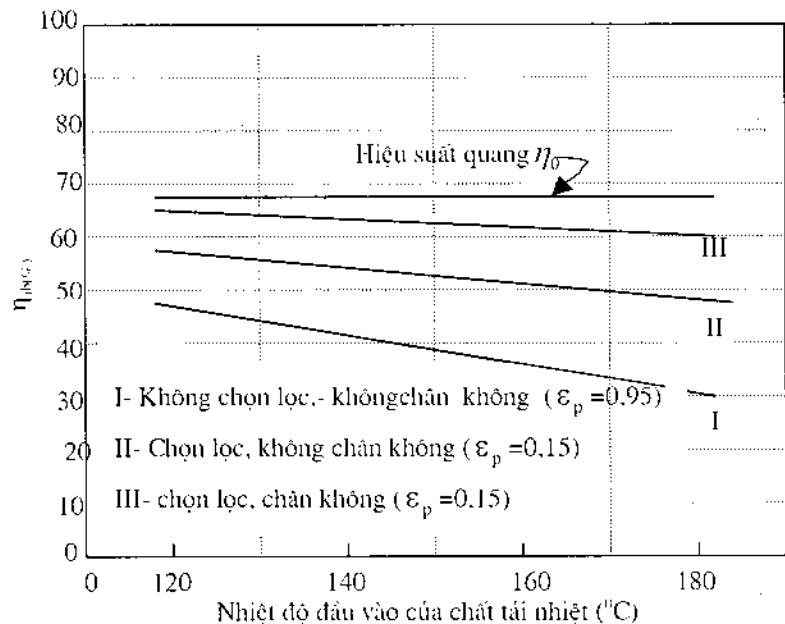
$$f = 0,0452$$

$$\Delta P = \frac{4f\rho LV^2}{2D_i} = \frac{4 \times 0,0452 \times 750,3 \times 3,675 \times 0,1153^2}{2 \times 0,0381} = 86,7 \text{ N/m}^2 = 0,88 \text{ cmH}_2\text{O}$$

Giá trị này là hợp lý.

Các giá trị của η_i và η_{th} nhận được từ ví dụ này ta thấy thấp và khác nhau giữa chúng một cách đáng kể. Các giá trị thấp một phần là do nhiệt độ đầu vào của chất tải nhiệt khá cao nhờ khả năng hội tụ của thiết bị, còn sự khác nhau giữa chúng là do thành phần khuếch tán trong tổng xạ chiếm tỉ lệ cao.

Để giảm sự tổn thất xảy ra đối với bộ thu ta cần phân biệt *tổn thất quang* và *tổn thất nhiệt*. Tổn thất quang gây ra bởi bức xạ tới phải truyền qua ống kính bọc ngoài trước khi đập lên ống hấp thụ, còn tổn thất nhiệt thì gây ra bởi hiện tượng đối lưu và bức xạ từ ống hấp thụ và sự dẫn nhiệt ở hai đầu ống. Từ nguyên nhân này chúng ta đưa ra định nghĩa *hiệu suất quang* η_0 là tỷ phần bức xạ tới trên mặt hứng năng của bộ thu so với năng lượng mà ống hấp thụ nhận được. Tức là



Hình 6.3.6. Sự thay đổi hiệu suất theo nhiệt độ chất tải nhiệt, theo số liệu của ví dụ 6.3.

$$\eta_0 = \frac{I_b R_b \rho \gamma (\tau \alpha)_b (W - D_0) L + I_b R_b (\tau \alpha)_b D_0 L}{I_b R_b W L}$$

$$= \frac{\rho \gamma (\tau \alpha)_b (W - D_0)}{W} + \frac{(\tau \alpha)_b D_0}{W} = \frac{S}{I_b R_b} \frac{(W - D_0)}{W} \quad (6.3.42)$$

Thay các giá trị bằng số vào ví dụ trên ta nhận được

$$\eta_0 = \frac{486,03}{705 \times 1,0143} \times \frac{(1,25 - 0,04135)}{1,25} = 0,657$$

e- Ảnh hưởng của nhiệt độ đầu vào

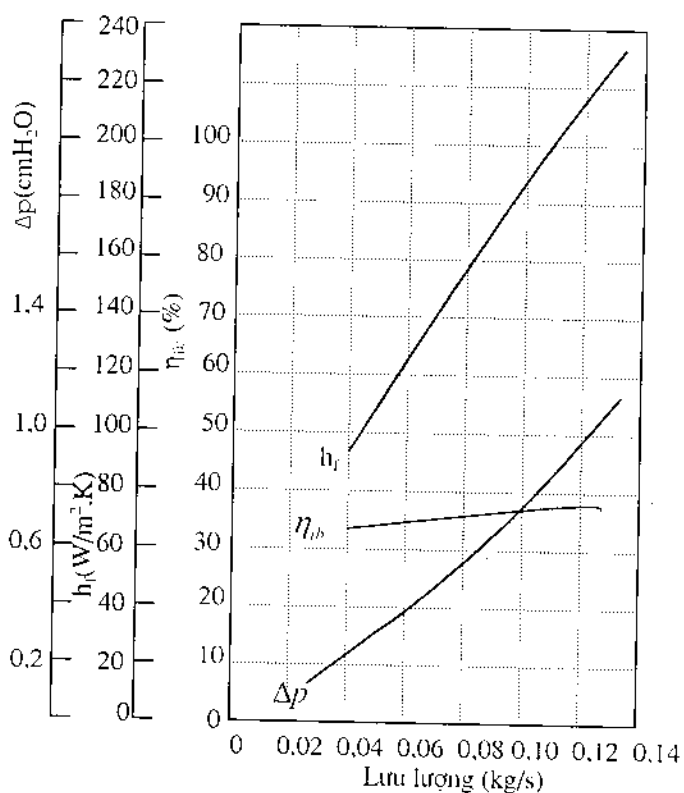
Khi nhiệt độ đầu vào tăng thì nhiệt độ của ống hấp thụ cũng tăng theo. Như vậy

sự tổn thất nhiệt do tái phát xạ và đối lưu ra môi trường chung quanh tăng, do đó làm giảm hiệu suất.

Điều này là hiển nhiên đối với phương trình (6.2.3) khi tính nhiệt hữu ích của bộ thu. Để minh họa cho ảnh hưởng này ta tính lại ví dụ 6.3 cho trường hợp hoạt động của bộ thu khi nhiệt độ đầu vào thay đổi từ 120°C đến 180°C . Các kết quả nhận được như các đường cong mô tả trên hình 6.3.6. Ở đây ta thấy giá trị của η_{th} giảm một cách đáng kể khi T_{li} tăng. Sự giảm hầu như không tuyến tính. Sự giảm không tuyến tính có thể được giải thích là do tổn thất nhiệt ảnh hưởng bởi tăng nhiệt độ của chất tải là không đáng kể (giá trị của hiệu suất quang không đổi theo nhiệt độ đầu vào). Sự khác nhau về giá trị giữa η_0 và η_{th} chính là do hiện tượng tái bức xạ và đối lưu.

f- Ảnh hưởng bởi lưu lượng của chất tải nhiệt

Khi tăng lưu lượng chất tải nhiệt sẽ làm tăng thông lượng của hệ số thoát nhiệt h_t . Do vậy, dẫn tới sự tăng thừa số hiệu suất và tăng thừa số thoát nhiệt nên hiệu suất bộ thu sẽ tăng. Ảnh hưởng này được minh họa trên hình 6.3.7. Trong đó lưu lượng $\dot{m}$ thay đổi từ $0,0329\text{kg/s}$ đến $0,1315\text{kg/s}$ ta nhận thấy độ nghiêng của đường cong hiệu suất giảm dần khi lưu lượng tăng, và giá trị của η_{th} tiến dần tới giá trị bão hòa. Đồng thời ta cũng thấy giá trị độ giảm áp tăng, do vậy đòi hỏi phải tăng công suất của bơm. May thay, sự tăng này không quá nhanh nhờ số Prandtl của chất lỏng đủ lớn do sự có mặt của băng xoắn bên trong ống tải nhiệt. Như vậy giá trị của lưu lượng $\dot{m}$ tối ưu sẽ là giá trị mà ở đó hiệu suất bộ thu η_{th} tiệm cận với giá trị bão hòa mà độ giảm áp không lớn lắm. Trong trường hợp này giá trị tối ưu của lưu lượng đạt chung quanh giá trị $0,12\text{kg/s}$



Hình 6.3.7. Sự thay đổi hiệu suất theo lưu lượng.
Số liệu trong ví dụ 6.3.

g- Ảnh hưởng của chất hấp thụ chọn lọc trên bề mặt ống hấp thụ và độ chân không ở khoảng trống giữa ống hấp thụ và ống kính bao ngoài

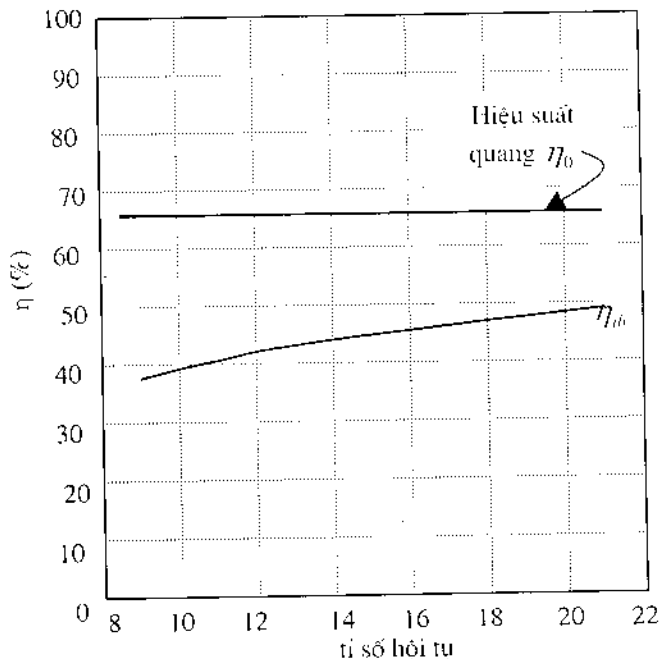
Từ hình 6.3.6 ta thấy rất rõ ràng tổn thất nhiệt do tái bức xạ và đối lưu là rất cao, nếu loại bỏ được các tổn thất này thì hiệu suất của bộ thu sẽ tăng một cách đáng kể. Sự tổn thất do tái bức xạ giảm nhờ dùng chất hấp thụ chọn lọc phủ ngoài mặt ống, còn giảm tổn thất nhiệt do đối lưu nhờ khoảng trống giữa ống hấp thụ và ống kính bọc ngoài (vành đệm) đã được hút chân không.

Các kết quả thực nghiệm cho thấy ảnh hưởng của các yếu tố này đến η_{th} và T_{ti} như đã thể hiện trên (hình 6.3.6), (i)- chất hấp thụ chọn lọc với hệ số phát xạ $\varepsilon_p = 0,15$ và vành đệm không được hút chân không, và (ii)- mặt hấp thụ chọn lọc $\varepsilon_p = 0,15$, vành đệm đã được hút chân không. Ở đây ta cũng nhận thấy rằng các yếu tố trên có vai trò quan trọng trong việc làm tăng hiệu suất bộ thu nhờ hạn chế được tốc độ giảm của η_{th} và T_{ti} . Việc tăng η_{th} là nhờ giảm được tổn thất nhiệt toàn phần U_L . Ví dụ, khi đầu vào ở hai nhiệt độ $T_u = 180^\circ\text{C}$ và 120°C thì tổn thất nhiệt tương ứng là $12,28\text{W/m}^2.\text{K}$ và $6,34\text{W/m}^2.\text{K}$.

h- Ảnh hưởng của tỉ số hội tụ

Ảnh hưởng bởi việc tăng độ hội tụ bằng cách giảm kích thước của ống hấp thụ như mô tả trên hình 6.3.8. Ở đây ta thấy rằng hiệu suất của bộ thu tăng. Kết quả này, một cách hiển nhiên cũng nhận được từ phương trình (6.3.22). Khi tỉ số hội tụ tăng mà không làm giảm các thừa số còn lại thì giá trị của hiệu suất quang thay đổi rất ít. Tuy nhiên tổn thất từ ống hấp thụ sẽ giảm theo tỷ lệ nghịch với C, nên hiệu suất bộ thu sẽ tăng.

Ví dụ minh họa. Trước khi kết thúc phân tích toán thiết kế bộ thu dạng parabol trụ, chúng tôi dẫn ra một ví dụ dưới đây để bạn đọc có thể hình dung được quy mô của một bộ thu dạng này có công suất nhiệt điện là 80MW lớn nhất cho tới nay, đã được lắp đặt tại Luz, Bang California, Hoa Kỳ. Bộ thu này

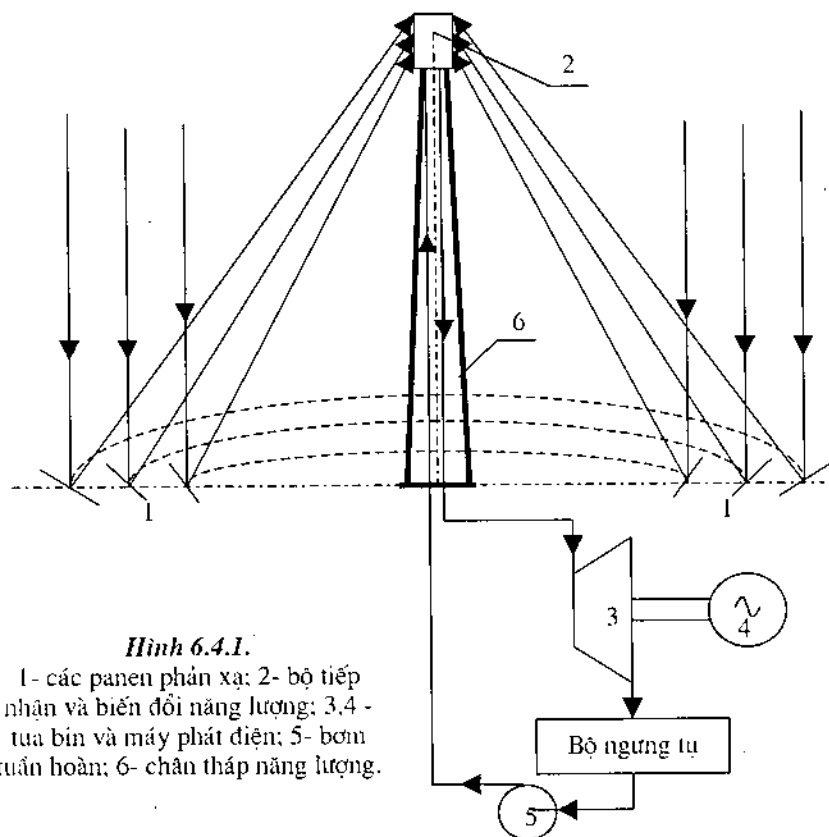


Hình 6.3.8. Hiệu suất bộ thu phụ thuộc vào tỉ số hội tụ, số liệu từ ví dụ 6.3.

có các thông số kích thước như sau:

- Bề rộng mặt hứng nắng (khẩu độ mờ) 5,76m
- Chiều dài 95,2m
- Mặt phản xạ gồm 224 panel mặt gương cong
- Hệ số phản xạ 0,94
- Hệ số truyền qua 0,965
- Chân không trong vành đệm 10^{-4} torr
- Đường kính ngoài ống hấp thụ 0,070m
- Hệ số hấp thụ 0,97
- Hệ số phát xạ 0,15
- Hiệu suất quang 0,772
- Hiệu suất đỉnh (tính với tia trực xạ) 0,68
- Hiệu suất cả năm (tính với tia trực xạ) 0,53

§6.4. Bộ thu hồi tụ ứng dụng hiệu ứng quang-nhiệt trong hệ thống nhà máy điện Mặt Trời



Hình 6.4.1.

1- các panen phản xạ; 2- bộ tiếp nhận và biến đổi năng lượng; 3,4 - tua bin và máy phát điện; 5- bơm tuần hoàn; 6- chân tháp năng lượng.

Trong những năm cuối thế kỷ XX sau thời kỳ khủng hoảng năng lượng nhiều nước công nghiệp phát triển đã tiến hành nghiên cứu ứng dụng hiệu ứng quang - nhiệt để xây dựng nhà máy điện Mặt Trời. Kết quả nghiên cứu của các nước: Tây Ban Nha, Ý, Nhật Bản, Pháp, Liên Xô (cũ), Mỹ ... đã cho ra đời nhiều nhà máy có công suất từ 0,5kW đến 10MW, và đã rút ra được những kết luận khoa học có ý nghĩa cũng như những hạn chế cần khắc phục như: giá thành điện năng còn quá cao, chưa khống chế được ảnh hưởng của thời tiết, khí hậu, đặc biệt là khó duy trì sự hoạt động liên tục của nhà máy khi không có Mặt Trời... Dưới đây sẽ mô tả nguyên lý hoạt động của nhà máy điện Mặt Trời sử dụng hiệu ứng quang-nhiệt.

Sơ đồ nguyên lý của nhà máy điện Mặt Trời sử dụng hiệu ứng quang-nhiệt như mô tả trên hình 6.4.1. Gồm 3 bộ phận chính: Các panen phản xạ, bộ tiếp nhận và biến đổi năng lượng và hệ phát điện

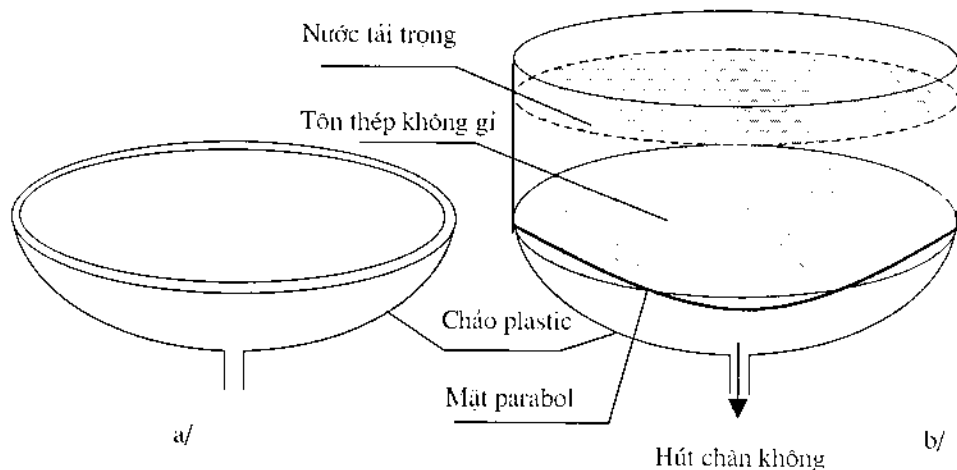
6.4.1. Hệ thống gương phản xạ

Gương phản xạ (1) là những môđun có kích thước mặt phản xạ từ 4 đến 50m² được lắp đặt chung quanh tháp năng lượng (6). Các môđun có thể tự động điều chỉnh để sao cho các tia phản xạ đều hướng tới bộ phận tiếp nhận và biến đổi năng lượng (2) dù cho Mặt Trời ở bất cứ vị trí nào trên bầu trời. Số lượng môđun nhiều hay ít tùy thuộc vào công suất của nhà máy điện Mặt Trời. Ví dụ, Với công suất 500kW thì chỉ cần 93 môđun với tổng diện tích mặt phản xạ là 3.655m² (Tây Ban Nha, 1981). Nhưng với công suất 10MW thì cần tới 1.818 môđun và 71.447m² diện tích mặt phản xạ (Hoa Kỳ, 1982). Các môđun có thể có dạng đĩa parabol hoặc tấm phản xạ hình lòng máng hay còn gọi là *Heliostat*.

1- Phương pháp tạo hình đối với parabol đĩa

Đối với parabol đĩa có kích thước nhỏ $D \leq 2\text{m}$ thì việc tạo hình như đã mô tả ở mục 6.3, nhưng với parabol loại lớn, có kích thước $D \geq 7,5\text{m}$ thì có nhiều phương pháp khác nhau. Dưới đây là một phương pháp do một công ty của Cộng hoà Liên bang Đức thực hiện. Đầu tiên người ta tạo ra một chảo hình chõm cầu bằng chất dẻo. Chảo được gắn chặt với một vành tròn bằng ống thép không gỉ, dưới đáy chảo có một lỗ trống để nối với hệ hút chân không (hình 6.4.2a)

Quá trình tạo hình được tiến hành như sau: Người ta hàn chặt và kín khí một tấm tôn thép không gỉ mềm, dày 0,3mm lên vành chảo. Sau đó đặt một thùng hình trụ có đáy trùng khít với vành chảo. Đáy thùng được làm bằng vật liệu có độ đàn hồi cao và kín nước. Tiếp theo người ta cho nước vào thùng để làm tải trọng nén tấm tôn không gỉ, trong khi đó người ta cho hút chân không khoảng không gian giữa tôn và đáy. Dưới tác dụng của lực nén của nước phía trên và lực hút chân không ở phía dưới làm cho tấm tôn dần biến dạng một cách đều đặn theo bình bao của đầu một "giọt nước", hình này có



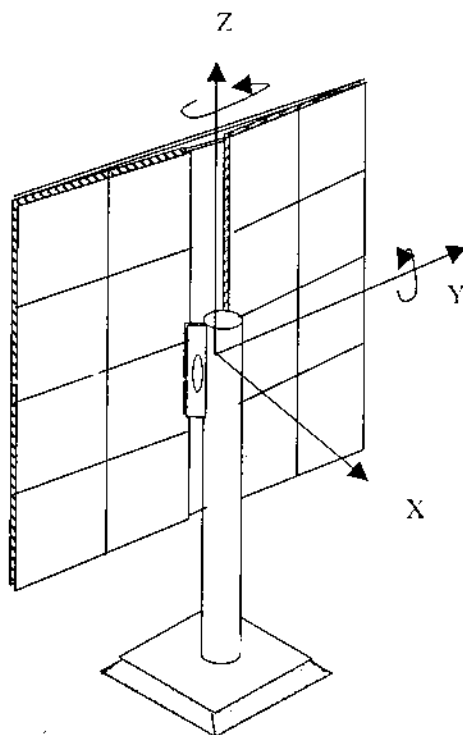
Hình 6.4.2. Sơ đồ mô tả quá trình tạo mặt cong có dạng parabol.

dạng của mặt parabol. Khi độ cong của parabol đạt được giá trị cho trước (phương trình 6.4.1) thì dừng tác động lực và hàn kín đầu ống hút chân không để giữ nguyên trạng thái đã biến dạng. Cuối cùng tải trọng gỡ bỏ và mặt parabol đã được định hình. Trạng thái chân không vẫn được duy trì suốt trong quá trình hoạt động của parabol. Để có mặt phản xạ người ta phủ ở mặt trong của parabol bằng những tấm gương có hệ số phản xạ từ 0,85 đến 0,92. Toàn bộ mặt parabol phản xạ được treo trên một trụ đứng và có thể điều khiển một cách tự động quay quanh trục thẳng đứng và trục nằm ngang như hình 6.4.3.

2- Cấu tạo của heliostat

Việc tạo ra mặt parabol đĩa như vừa trình bày trên đây có công nghệ tương đối phức tạp, vì vừa phải điều chỉnh đồng bộ tải trọng nước vừa điều chỉnh lực hút chân

không sao cho biến dạng xảy ra một cách từ từ để không làm rách màng tôn, và phải xác định đúng độ cong phù hợp với tiêu cự f đã cho. Để khắc phục khó khăn này người ta dùng kết cấu tấm phản xạ dạng lồng máng - heliostat như sau: Mỗi panen là một tấm

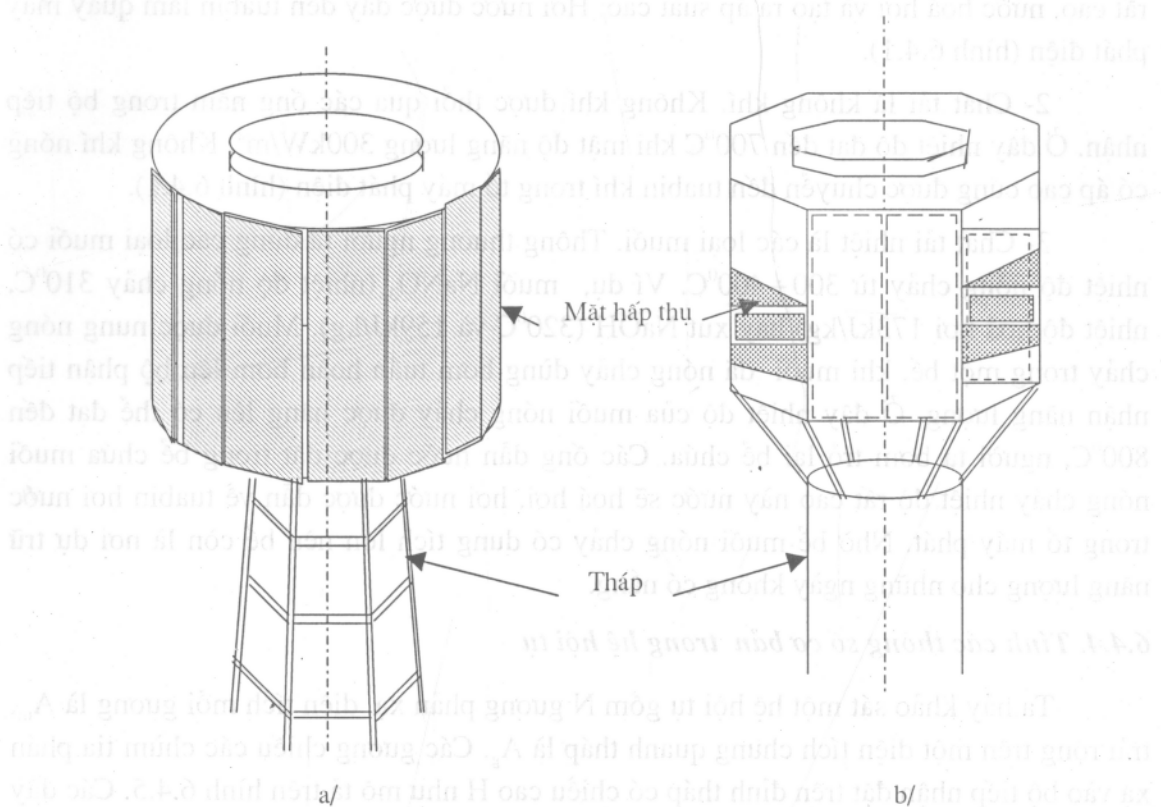


Hình 6.4.3. Mặt sau của môđun heliostat.

hình vuông, có diện tích từ 20 đến 50 m², được ghép bởi hai tấm hình chữ nhật tạo thành một mặt khum hình lồng máng, như mô tả trên hình 6.4.3. Mặt trong lồng máng được phủ những tấm gương phản xạ có hệ số phản xạ cao. Cả khung vuông được treo trên một cột thẳng đứng và có thể quay đồng thời quanh hai trục (Y) và (Z) để chùm tia phản xạ hội tụ về đỉnh tháp, nơi đặt bộ tiếp nhận và biến đổi năng lượng, phù hợp với vị trí của Mặt Trời trong ngày cũng như các mùa trong năm. Toàn bộ hệ thống vừa mô tả được gọi là *heliostat*

6.4.2. Bộ tiếp nhận và biến đổi năng lượng

Bộ tiếp nhận và biến đổi năng lượng được đặt trên đỉnh tháp cao từ 50 đến 80m. Bộ phận này có hai kiểu cấu tạo khác nhau: Tiếp nhận năng lượng từ mặt ngoài và tại hốc lõm ở bên trong như mô tả trên hình 6.4.4.



Hình 6.4.4. Bộ phận tiếp nhận và biến đổi năng lượng:

a- Tiếp nhận mặt ngoài; b- tiếp nhận trong hốc lõm.

Bộ tiếp nhận năng lượng từ mặt ngoài có dạng một hình trụ, đường kính 7m, chiều cao 13m. Chung quanh được lắp đặt 24 tấm panen hấp thụ. Mặt sau của các tấm panen hấp thụ được hàn các ống thép chống ăn mòn, chịu được nhiệt độ và áp suất cao

(510°C, áp suất 103at), ống có đường kính trong 6mm, đường kính ngoài 12,5mm (Hình 6.4.4.a). Hiệu suất biến đổi năng lượng theo năm của loại này chỉ đạt 0,69. Để có hiệu suất biến đổi cao hơn người ta dùng bộ tiếp nhận năng lượng trong hốc lõm như mô tả trên hình 6.4.4.b. Qua thực nghiệm cho thấy hiệu suất biến đổi theo năm của loại này đạt đến 0,9.

6.4.3. Chất tải nhiệt dùng trong hệ nhà máy điện Mặt Trời

Để chuyển năng lượng từ bộ tiếp nhận đặt trên đỉnh tháp đến tuabin đặt ở mặt đất người ta đã dùng ba loại chất tải: nước/hơi nước; không khí và các loại muối có nhiệt độ nóng chảy từ 300 đến 400°C. Dưới đây ta sẽ khảo sát quá trình vận hành của các chất tải nhiệt này.

1- Chất tải là nước. Nước được bơm vào bộ tiếp nhận, dưới tác dụng của nhiệt độ rất cao, nước hoá hơi và tạo ra áp suất cao. Hơi nước được đẩy đến tuabin làm quay máy phát điện (hình 6.4.1).

2- Chất tải là không khí. Không khí được thổi qua các ống nằm trong bộ tiếp nhận. Ở đây nhiệt độ đạt đến 700°C khi mật độ năng lượng 300kW/m². Không khí nóng có áp cao cũng được chuyển đến tuabin khí trong tổ máy phát điện (hình 6.4.1).

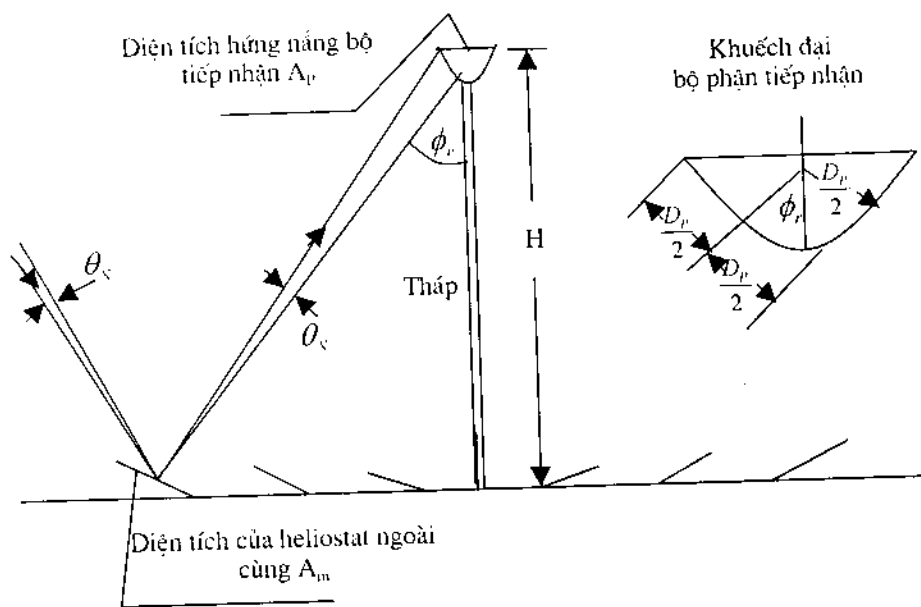
3- Chất tải nhiệt là các loại muối. Thông thường người ta dùng các loại muối có nhiệt độ nóng chảy từ 300÷400°C. Ví dụ, muối NaNO₃ (nhiệt độ nóng chảy 310°C, nhiệt độ hoá hơi 173kJ/kg) hay xút NaOH (320°C và 159kJ/kg). Muối được nung nóng chảy trong một bể, khi muối đã nóng chảy dùng bơm tuần hoàn bơm lên bộ phận tiếp nhận năng lượng. Ở đây nhiệt độ của muối nóng chảy được nâng lên có thể đạt đến 800°C, người ta bơm trở lại bể chứa. Các ống dẫn nước được đặt trong bể chứa muối nóng chảy nhiệt độ rất cao này nước sẽ hoá hơi, hơi nước được dẫn về tuabin hơi nước trong tổ máy phát. Nhờ bể muối nóng chảy có dung tích lớn nên bể còn là nơi dự trữ năng lượng cho những ngày không có nắng.

6.4.4. Tính các thông số cơ bản trong hệ hội tụ

Ta hãy khảo sát một hệ hội tụ gồm N gương phản xạ, diện tích mỗi gương là A_m, trải rộng trên một diện tích chung quanh tháp là A_g. Các gương chiếu các chùm tia phản xạ vào bộ tiếp nhận đặt trên đỉnh tháp có chiều cao H như mô tả trên hình 6.4.5. Các dãy gương heliostat không gây cản trở nhau khi phản xạ các tia bức xạ trong quá trình theo dõi Mặt Trời. Như vậy, tổng diện tích mặt phản xạ của hệ thống N heliostat chỉ chiếm một phần diện tích đặt các heliostat. Nếu gọi ψ là hệ số tỉ lệ chiếm chỗ của các heliostat trên toàn diện tích bao quanh tháp thì có thể viết

$$NA_m = \psi A_g \quad (6.4.1)$$

Hầu hết các hệ hội tụ có tháp trung tâm, hệ số tỉ lệ ψ thường có giá trị bằng 0,4.



Hình 6.4.5. Phân tích khả năng tiếp nhận tại trung tâm.

Gọi diện tích hấp thụ của bộ tiếp nhận (trên đó hội tụ các chùm tia phản xạ) là A_p . Chiều cao của tháp là H , thì ta có thể viết phương trình cân bằng năng lượng trên bề mặt hấp thụ đối với nhiệt có ích q_U như sau

$$q_U = H_b \left[\sum_{j=1}^N r_{bj} \right] \rho \tau \alpha A_m - U_L A_p (T_{pm} - T_a) \quad (6.4.2)$$

ở đây, thừa số độ nghiêng trung bình được định nghĩa bằng biểu thức

$$(r_b)_{av} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N r_{bj} \quad (6.4.3)$$

Thay (6.4.3) vào (6.4.2) ta nhận được

$$\begin{aligned} q_U &= H_b (r_b)_{av} \psi A_g \rho \tau \alpha - U_L A_p (T_{pm} - T_a) \\ &= \psi A_g \left[H_b (r_b)_{av} \rho \tau \alpha - \frac{U_L}{C} (T_{pm} - T_a) \right] \end{aligned} \quad (6.4.4)$$

trong đó, H_b - cường độ bức xạ trực xạ; C được gọi là độ tụ, được xác định bởi

$$C = (NA_m/A_p) = (\psi A_g/A_p)$$

Để thể hiện được kích thước của bộ tiếp nhận và tỉ số độ tụ ta giả thiết rằng trường đặt các gương phản xạ là một vòng tròn bao quanh tháp. Góc mở, hợp bởi tia phản xạ ngoài cùng với trục thẳng đứng bằng Φ_r , khoảng cách từ mép ngoài cùng đến

tâm mặt hấp thụ là $(H/\cos \Phi_r)$. Nếu gương là phẳng thì kích thước của ảnh trên mặt hấp thụ được xác định bởi hệ thức

$$L_i = \frac{H}{\cos \Phi_{as}} (\theta_s + \theta_e) + \omega \quad (6.4.5)$$

trong đó, θ_s là góc nhìn hai điểm xa nhất trên đường bao Mặt Trời từ mặt đất; θ_e là sai số góc toàn phần do chế tạo; ω là sai số hình dáng. Nếu các panen phản xạ là hình đĩa thì sự sai khác của ảnh phản của gương có thể bỏ qua, và kích thước L_i nhận được khi cho $\omega = 0$ trong phương trình (6.4.5).

Van-Hull và Hildebrandt đã gợi ý rằng, khi hình dạng của bộ tiếp nhận gần giống như một chòm cầu hoặc dạng conic như đã cho trên hình 6.4.4 thì diện tích mặt hấp thụ được tính bằng hệ thức

$$A_p = \frac{\pi}{2} D_p^2 \left(1 + \sin \Phi_{on} - \frac{\cos \Phi_r}{2} \right) \quad (6.4.6)$$

Ở đây, D_p là đường kính của đối cầu tại điểm bằng chiều cao của mặt hấp thụ nhìn xuống mép của tấm gương ngoài cùng. Thay D_p với kích thước ảnh của gương trong phương trình (6.4.5) ta có

$$A_p = \frac{\pi}{2} \left\{ \frac{H}{\cos \Phi_r} (\theta_s + \theta_e) + \omega \right\}^2 \left(1 + \sin \Phi_r - \frac{\cos \Phi_r}{2} \right) \quad (6.4.7)$$

Như vậy tỉ số độ tụ trong trường hợp này là

$$\begin{aligned} C &= \frac{NA_m}{\frac{\pi}{2} \left\{ \frac{H}{\cos \Phi_{as}} (\theta_s + \theta_e) + \omega \right\}^2 \left(1 + \sin \Phi_r - \frac{\cos \Phi_r}{2} \right)} = \\ &= \frac{\psi \pi H^2 \text{tg}^2 \Phi_r}{\frac{\pi}{2} \left\{ \frac{H}{\cos \Phi_{as}} (\theta_s + \theta_e) + \omega \right\}^2 \left(1 + \sin \Phi_r - \frac{\cos \Phi_r}{2} \right)} \quad (6.4.8) \end{aligned}$$

Đối với gương phản xạ hình đĩa thì sự khác biệt do ảnh phản xạ hình dáng có thể bỏ qua. Khi đặt $\omega = 0$ vào phương trình (6.4.8) ta nhận được tỉ số độ tụ cho trường hợp này.

Ví dụ 6.4. Một hệ hội tụ bộ tiếp nhận năng lượng được đặt ở trung tâm, trên tháp cao 150m, góc mở $\Phi_r = 50^\circ$ và đường kính của gương phản xạ là 4,5m. Tìm: kích thước ảnh phản xạ của tấm gương ngoài cùng trên mặt hấp thụ; diện tích của mặt hấp thụ (xem

hình 6.4.5) và tỉ số độ tụ phù hợp với đề bài. Giả thiết kính phản xạ là tấm phẳng, dạng đĩa. Cho $\psi = 0,38$ và $\theta_c = 0,002$ radian.

Giải

(1) Từ các phương trình (6.4.5) và (6.4.6),

$$L_i = \frac{150}{\cos 50^\circ} \left(\frac{32\pi}{60 \times 180} + 0,002 \right) + 4,5 = 7,14 \text{ m}$$

$$A_p = \frac{\pi}{2} \times 7,14^2 \left(1 + \sin 50^\circ - \frac{\cos 50^\circ}{2} \right) = 115,67 \text{ m}^2$$

Như vậy
$$C = \frac{0,38 \times \pi \times 150^2 \times \tan^2 50^\circ}{115,67} = 330$$

(2) Nếu là gương dạng đĩa, $\omega = 0$ ta có

$$L_i = \frac{150}{\cos 50^\circ} \left(\frac{32\pi}{60 \times 180} + 0,002 \right) = 2,64 \text{ m}$$

$$A_p = \frac{\pi}{2} \times 2,64^2 \left(1 + \sin 50^\circ - \frac{\cos 50^\circ}{2} \right) = 15,82 \text{ m}^2$$

và
$$C = \frac{0,38 \times \pi \times 150^2 \times \tan^2 50^\circ}{15,82} = 2.412$$

Bảng 6.1 thống kê các nhà máy điện Mặt Trời đã được xây dựng và thử nghiệm tại các nước phát triển để bạn đọc tham khảo

Bảng 6.1. Các nhà máy điện Mặt Trời sử dụng hiệu ứng quang-nhiệt

Tên nhà máy	SSPS	Eurelios	CESAI	Sunshine	Themis	CES 5	Solar one
Tên quốc gia	T.BNha	Ý	TB.Nha	Nhật	Pháp	L. Xô	Mỹ
C. suất ra(MW)	0,5	1	1,2	1	2	5	10
Số heliostat	93	112,7	300	807	201	1600	1818
Diện tích phản xạ (m ² /m ²)	39,3	23,52	39,6	16	53,9	25	9,3
Tổng DT (m ²)	3.655	6.216	11.880	12.912	10.740	40000	71447
Kiểu bộ tiếp nhận năng lượng	hốc	hốc	hốc	hốc	hốc	mặt ngoài	mặt ngoài
Chất tải nhiệt	Sude	hơi nước	hơi nước	hơi nước	muối ng.chảy	hơi nước	hơi nước
Ch. cao tháp(m)	43	55	60	69	-	70	80
Bắt đầu hoạt động từ năm	1981	1981	1983	1981	1983	1985	1982

Câu hỏi và bài tập chương 6

Câu hỏi

1. Nêu các định nghĩa các thông số đặc trưng của một hệ hội tụ. Mô tả kết cấu của các hệ hội tụ.
2. Tại sao các hệ hội tụ phải luôn được điều khiển hướng theo Mặt Trời và cho biết có bao nhiêu cách định hướng. Cách nào cho hiệu suất cao nhất và các nào thuận tiện nhất.
3. Nêu các bước tính hiệu suất cho một hệ hội tụ.

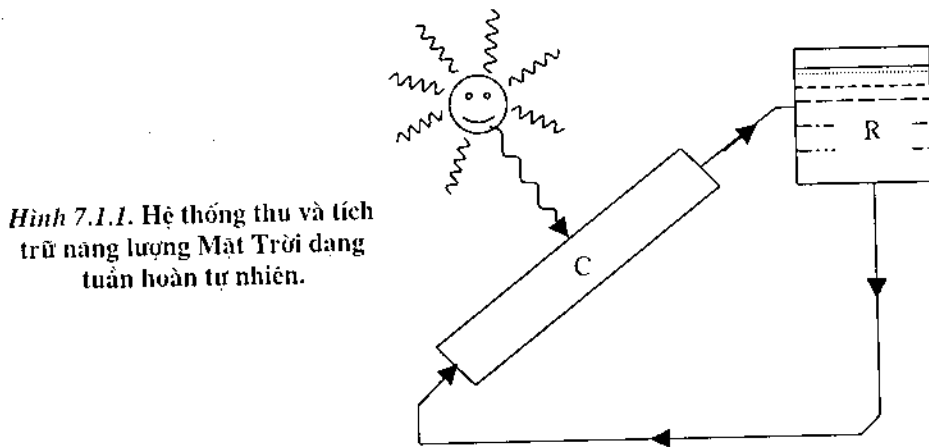
Bài tập

Đọc kỹ và làm lại các bài tập ví dụ đã cho (cố gắng không xem sách)

Chương 7

HỆ ĐUN NƯỚC NÓNG CÓ TÍCH TRỮ NHIỆT

Như ta đã biết năng lượng Mặt Trời là một nguồn năng lượng vô tận, nhưng lại luôn ở trạng thái không ổn định, như phụ thuộc vào ngày đêm, vào thời tiết, vào khí tượng thủy văn v.v..., mặt khác việc sử dụng năng lượng nhiệt cũng phụ thuộc vào từng đối tượng sử dụng như: dùng vào mục đích sản xuất hay phục vụ sinh hoạt cho gia đình, có nghĩa là dùng liên tục hay gián đoạn vào những giờ nhất định, ở một thời điểm bất kỳ, ngày hay đêm, và trong mọi thời tiết, nắng hay có mây mù hoặc có mưa. Trong khi đó Mặt trời chỉ cung cấp năng lượng vào ban ngày và bầu trời không có mây che. Như vậy, để thoả mãn cho mọi mục đích sử dụng cần thiết ta phải bổ sung thêm cho bộ thu bức xạ một thiết bị *tích trữ nhiệt* để chúng tạo thành một hệ thống hoàn chỉnh như sơ đồ mô tả trên hình 7.1.1



§7.1. Các hệ tuần hoàn tự nhiên - còn được gọi là hiệu ứng siphon nhiệt

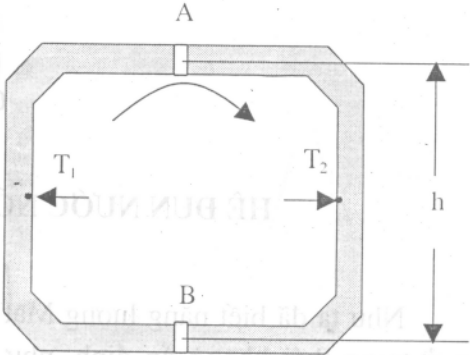
7.1.1. Hiệu ứng siphon nhiệt

Giả sử có một dòng chất lỏng chảy trong một vòng kín (h.7.1.2) từ một điểm có nhiệt độ T_1 đến điểm có nhiệt độ T_2 ($T_2 < T_1$); h - chênh lệch độ cao giữa hai điểm cao và thấp của dòng chảy. Một cách đơn giản người ta đã chứng minh rằng dòng chảy chuyển động từ phía có nhiệt độ cao về phía có nhiệt độ thấp hơn, theo chiều mũi tên chỉ trên

hình vẽ. (Sự tuần hoàn này gây ra bởi chênh lệch trọng lượng hoặc siphon nhiệt). Độ chênh áp giữa hai nhánh được mô tả bằng công thức

$$\Delta p = h\rho(T_1 - T_2)] \tag{7.1.1}$$

ở đây, ρ -khối lượng riêng của chất lỏng.

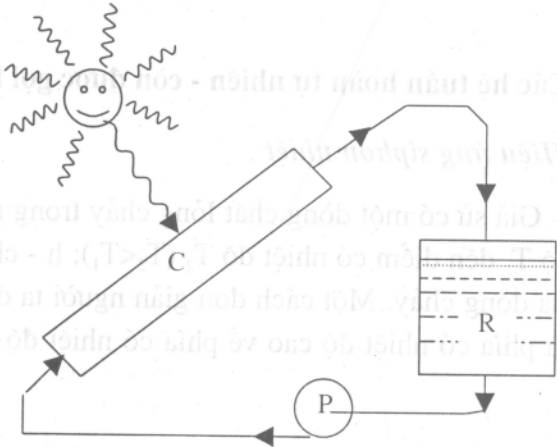


Hình 7.1.2. Hiệu ứng siphon nhiệt.

Người ta nhận được vận tốc tuần hoàn của chất lỏng nhờ sự cân bằng độ chênh cột áp Δp với tổn thất dọc đường của dòng chảy trong một vòng kín ABA. Vì vậy một hệ bao gồm bộ thu C và bình chứa R được đặt ở vị trí cao hơn (hình 7.1.1) cũng tạo thành dòng chảy tuần hoàn như vừa được đã mô tả trên đây. Trong trường hợp này năng lượng cung cấp cho dòng chảy được trích từ năng lượng nhiệt mà bộ thu đã nhận được từ bức xạ nhiệt Mặt Trời. Từ đó cân bằng năng lượng toàn phần có thể coi tương ứng bằng năng lượng của một bơm tuần hoàn. Trong khi đó với phương pháp này người ta có thể tiết kiệm được năng lượng điện cung cấp cho một bơm. Tuy nhiên ở đây vận tốc của dòng chảy yếu hơn so với một bơm điện, mặt khác các ống dẫn trong trường hợp này phải có đường kính lớn hơn, nên vào ban đêm dòng chất lỏng chuyển động ngược từ bình chứa nước nóng về bộ thu có nhiệt độ thấp hơn theo nguyên lý siphon nhiệt. Để ngăn cản hiện tượng này thường người ta mắc thêm vào hệ một van một chiều để chống dòng chảy ngược.

7.1.2. Hệ tuần hoàn cưỡng bức

Trong nhiều trường hợp phải chuyển nước nóng đi xa, tổn thất dọc đường lớn, hiện tượng tuần hoàn tự nhiên không thể thực hiện được, nên bắt buộc người ta phải mắc thêm vào hệ một bơm điện P để tăng vận tốc tuần hoàn trong hệ thống. Vì vậy hệ thống này được gọi là *tuần hoàn cưỡng bức* (hình 7.1.3).

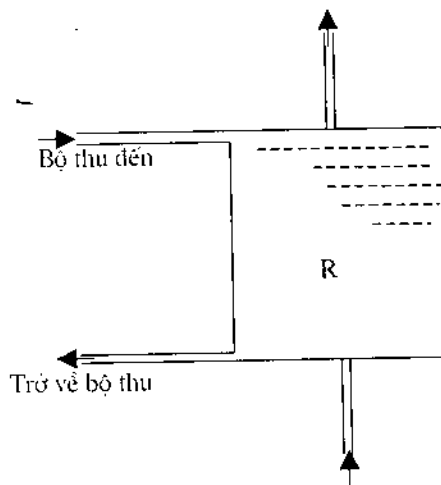


Hình 7.1.3. Hệ thống tuần hoàn cưỡng bức.

Trong trường hợp này người ta thấy bình chứa có thể đặt ở vị trí thấp và gần với nơi sử dụng, mặt khác nhờ vận tốc lớn nên có thể giảm được đường kính các ống dẫn. Trong thực tế người ta có thể sử dụng một trong hai hệ thống vừa mô tả ở trên.

7.1.3. Hệ thống bình chứa không có bộ trao đổi nhiệt

Ở hệ thống này nước nóng từ bộ thu chuyển trực tiếp vào bình chứa như sơ đồ mô tả trên (hình 7.1.4). Ở đây nước nóng được hoà lẫn với nước lạnh trong bình chứa. Loại này có hiệu suất cao hơn loại có bộ phận trao đổi nhiệt bằng ống có dạng xoắn, hoặc bằng tấm phẳng. Điều bất lợi lớn nhất trong trường hợp này là nhiệt độ chất lỏng chảy trong bộ thu luôn luôn tăng theo nhiệt độ tăng trong bình chứa. Điều đó dẫn đến tổn thất lên phía trên của bộ thu tăng, đồng thời dễ tạo nên một lớp cặn canxi trong ống nên làm cho hiệu suất của hệ giảm, do lớp cặn làm giảm hệ số truyền nhiệt giữa bề mặt của tấm hấp thụ và chất lỏng tải nhiệt trong ống dẫn.



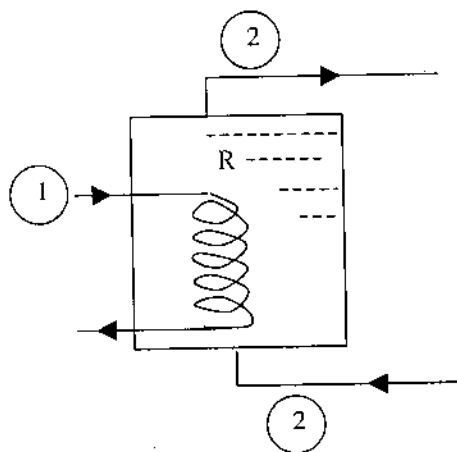
Hình 7.1.4. Bình chứa nước nóng.

7.1.4. Hệ có hai chất lỏng và bình chứa có bộ trao đổi nhiệt

Chất lỏng sơ cấp 1 đi qua bộ trao đổi nhiệt có dạng xoắn, hoặc tấm phẳng đặt bên trong bình chứa R, chất lỏng 2 nhận nhiệt từ chất lỏng 1 qua bộ trao đổi nhiệt (hình 7.1.5).

Với cách bố trí này sẽ hình thành sự tách lớp của nước trong bình chứa, lớp nước nóng sẽ nổi lên trên và được dẫn đến nơi sử dụng, còn phía đáy bình nước lạnh luôn được bổ sung vào ở phía dưới.

Như vậy ta có bốn hệ thống thu và tích nhiệt khác nhau. Trong thực tế thì hệ tuần hoàn cưỡng bức có bộ trao đổi nhiệt thường được dùng hơn, vì nó đảm bảo được lúc nào cũng có nước nóng dùng và có độ tin cậy cao.



Hình 7.1.5. Bình chứa có bộ trao đổi nhiệt.

a- Cân bằng nhiệt trên tấm kính

Để đơn giản tính toán ta giả thiết $A_u = A$; và $\alpha_p = 1$, coi tấm hấp thụ là vật đen lý tưởng, ta có phương trình

$$M_v C_v \frac{dT_v}{dt} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (7.2.1)$$

trong đó, $Q_1 = AHR_b \alpha_v$: nhiệt lượng hấp thụ bởi kính;

$Q_2 = A \sigma \alpha_v (T_p^4 - T_v^4)$: nhiệt bức xạ từ tấm hấp thụ lên kính;

$Q_3 = Ah_{cpv} (T_1 - T_v)$: nhiệt đối lưu giữa tấm hấp thụ và kính;

$Q_4 = A \sigma \epsilon_v (T_v^4 - T_c^4)$: nhiệt bức xạ giữa kính và bầu trời;

$Q_5 = Ah_{cva} (T_v - T_a)$: nhiệt đối lưu giữa kính và môi trường.

b- Cân bằng nhiệt trên tấm hấp thụ.

$$M_p C_p \frac{dT_p}{dt} = AHR_b (\tau_v \alpha_p) - Q_2 - Q_3 - Q_6 \quad (7.2.2)$$

ở đây, $Q_6 = Ah_{cpr}$: nhiệt truyền từ tấm hấp thụ vào chất lỏng tải nhiệt, với sự thừa nhận là

$$T_1 \sim \frac{T_{1f} + T_{2f}}{2}$$

c- Cân bằng nhiệt trong chất tải nhiệt bên trong bộ thu

$$M_r C_r \frac{dT_r}{dt} = Q_6 - Q_7 - Q_8 \quad (7.2.3)$$

trong đó, $Q_7 = Ah_{cla} (T_r - T_a)$: nhiệt trao đổi bằng dẫn nhiệt và đối lưu từ chất tải nhiệt ra môi trường qua mặt đáy,

$Q_8 = \dot{m}_r C_r (T_{2f} - T_{1f})$: nhiệt có ích làm nóng chất tải nhiệt.

d- Cân bằng nhiệt trong bình tích nhiệt

$$\dot{Q}_R = M_R C_R \frac{dT_R}{dt} = \dot{m}_r (T_{2f} - T_{1f}) - Q_9 - Q_{10} \quad (7.2.4)$$

$\dot{Q}_R$ = nhiệt tích trong bình chứa R;

T_R = nhiệt độ trung bình của bình tích nhiệt;

$Q_9 = A_R h_{cRa} (T_R - T_a)$: nhiệt tổn thất đối lưu quanh chu vi thành bình chứa;

A_R = diện tích mặt ngoài bình chứa;

$Q_{10} = \dot{m}_u C_u (T_u - T_{up})$ nhiệt hiệu dụng làm tăng nhiệt độ chất lỏng trong bình chứa, (coi $T_u \sim T_R$).

e- Phương trình dòng chảy tuần hoàn của chất tải nhiệt

Xét dòng chảy theo một đường cong kín ở chế độ quá độ ta có phương trình sau

$$\oint U_l dl + \sum Z = \oint \rho g dz + \Delta p \quad (7.2.5)$$

trong đó, $\oint U_l dl$ = tổn thất nhiệt dọc đường dẫn;

$\sum Z$ = tổn thất cục bộ;

Δp = độ tăng áp suất gây ra do bơm, nếu không có bơm thì số hạng này được loại bỏ;

U_l = tổn thất nhiệt trên một đơn vị dài của đường dẫn.

7.2.2. Các nghiệm phải tìm của hệ phương trình và kết quả

Chúng ta đã có 5 phương trình vừa thiết lập ở trên, nhưng trong đó lại có đến 6 ẩn số: T_v , T_1 , T_{1p} , T_{2p} , T_R và $\dot{m}_f$ phải được xác định. Để khắc phục điều này ta có thể thừa nhận rằng $T_{1p} \sim T_R$ (điều này càng đúng hơn khi có sự tuần hoàn mạnh giữa bộ thu và bình tích nhiệt trong trường hợp hệ không có bộ trao đổi nhiệt).

Cần nhấn mạnh thêm là trong trường hợp tuần hoàn cưỡng bức, $\dot{m}_f = \text{const}$, vì vậy phương trình 7.2.5 không còn nữa.

Cuối cùng ta có thể tìm được 4 nghiệm sau khi giải hệ 4 phương trình vi phân dưới đây

$$\frac{d}{dt}(T_v) = f_1(T_v, T_p, t)$$

$$\frac{d}{dt}(T_p) = f_2(T_v, T_p, T_{1p}, t)$$

$$\frac{d}{dt}(T_1) = f_3(T_v, T_p, T_{1p}, T_R, t) \quad (7.2.6)$$

$$\frac{d}{dt}(T_R) = f_4(T_v, T_p, T_{1p}, T_R, t)$$

Bằng các chương trình có sẵn ta có thể giải được các phương trình trên bằng máy vi tính.

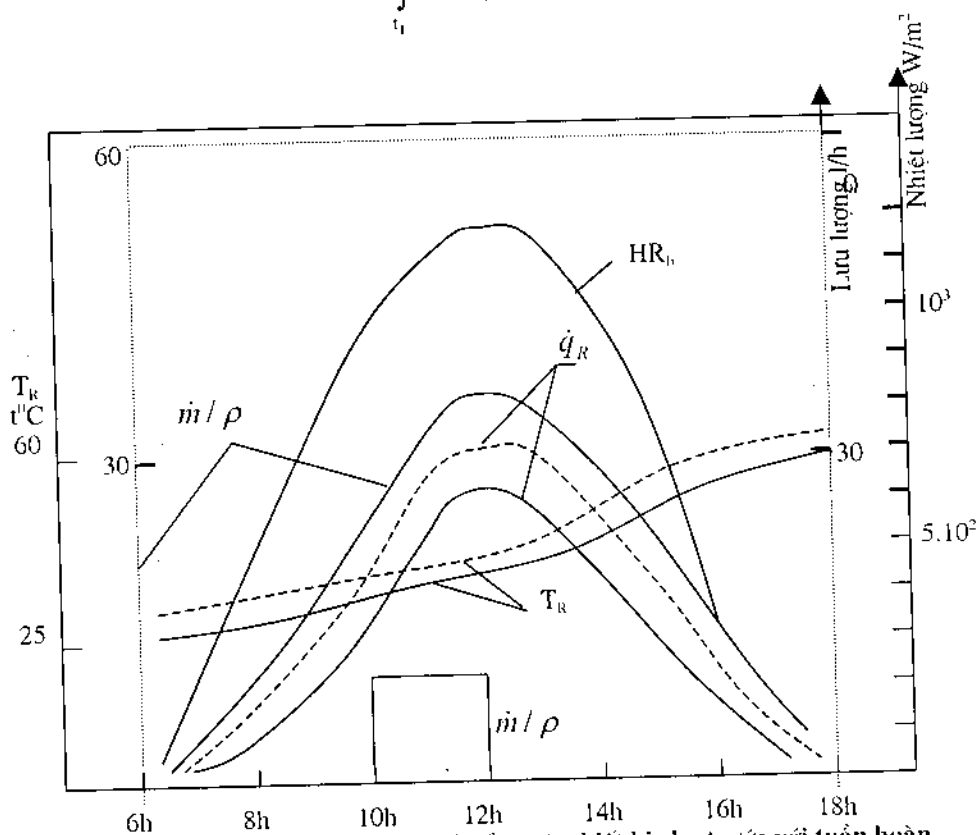
Trước hết cần phải xác định các đại lượng hình học của hệ cho trước với những điều kiện ban đầu như chọn nhiệt độ và khoảng thời gian Δt cho mỗi bước tính toán.

Các kết quả tính toán được thể hiện bằng những đường cong trên đồ thị và đối chiếu với kết quả đo đạc thực nghiệm, nếu thấy phù hợp giữa tính toán và thực nghiệm thì phương pháp chọn vừa rồi là hợp lệ và mới được đưa ra áp dụng. Ví dụ, ở đây các kết quả tính toán được mô tả bằng đồ thị cho trên hình 7.2.2. Trục tung biểu thị nhiệt độ và nhiệt lượng, trục hoành biểu thị thời gian, và bức xạ tổng xạ cũng là hàm phụ thuộc thời gian $HR_b = HR_b(t)$ trong một ngày.

Chúng ta cũng nhận thấy trên (hình 7.2.2) hiệu suất của hệ có tuần hoàn cưỡng bức cao hơn hệ tuần hoàn tự nhiên. Ở đây ta đã loại bỏ năng lượng tiêu thụ của bơm tuần hoàn, vì nó rất nhỏ so với năng lượng mà hệ nhận được.

Hiệu suất trung bình của hệ trong khoảng thời gian từ t_1 đến t_2 được tính theo biểu thức dưới đây.

$$\bar{\eta}_g = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \dot{q}_R(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} AHR_b(t) dt} \quad (7.2.7)$$



Hình 7.2.2. Đường cong tính hiệu suất của một thiết bị cho trước với tuần hoàn tự nhiên và cưỡng bức:

Đường nét liền: tuần hoàn tự nhiên; Đường nét đứt: tuần hoàn cưỡng bức.

Để có được kết quả đáng tin cậy ta cần tính hiệu suất cho tất cả các ngày hoạt động của thiết bị.

§7. 3. Những vấn đề đặt ra khi tích trữ nhiệt

- Sự lệch pha giữa chu kỳ vốn có của năng lượng Mặt Trời và chu kỳ sử dụng nước nóng trong bình tích trữ.

Việc tích trữ cũng đóng một vai trò quan trọng như bộ thu khi hệ hoạt động, bởi vì nó xác định giá trị của nhiệt độ T_f , tức là nhiệt độ trung bình của chất tải nhiệt trong bộ thu, và do đó tác dụng gián tiếp đến hiệu suất của bộ thu.

7.3.1. Các dữ liệu tổng quát của quá trình tích trữ nhiệt

Ở đây, chúng ta chỉ đề cập đến vấn đề tích trữ trực tiếp năng lượng Mặt Trời dưới dạng nhiệt. Nên chúng ta chỉ quan tâm đến các thông số của một bình tích như sau:

- Thời gian tích trữ.
- Lượng năng lượng được tích trữ.
- Nhiệt độ đòi hỏi của các chất tiếp nhận năng lượng thoả mãn được nhu cầu của nơi sử dụng (ví dụ nước nóng dùng cho gia đình).

Người ta phân loại tích trữ theo giai đoạn:

- Thời gian tích trữ rất ngắn hoặc ngắn (vài giờ hay vài ngày).
- Thời gian tích trữ dài (tích trữ giữa các mùa, hè và đông).

Có thể phân loại giữa các phương pháp tích trữ bởi chất tích nhiệt:

a- Tích trữ bằng *chất cảm nhiệt*: nhiệt được tích làm tăng nhiệt độ của chất tiếp nhận nhiệt chứa trong bình tích nhiệt (rắn, lỏng, khí) mà không làm thay đổi trạng thái của chúng trong suốt quá trình tiếp nhận năng lượng.

b- Tích trữ bằng *chất cảm nhiệt có ẩn nhiệt*: nhiệt tích trữ làm thay đổi nhiệt độ và kéo theo sự thay đổi trạng thái của chất tiếp nhận nhiệt (biến đổi từ trạng thái rắn sang trạng thái lỏng); và toả nhiệt khi trạng thái biến đổi ngược lại.

c- Tích trữ nhiệt bằng *chất phản ứng*: nhiệt tích trữ kéo theo sự thay đổi về thành phần hoá học của chất tiếp nhận nhiệt, bằng phản ứng thu nhiệt thuận nghịch; phản ứng nghịch thì toả nhiệt còn phản ứng thuận thì tích nhiệt. Ví dụ:



Phương pháp này chỉ đưa ra làm ví dụ còn trong thực tế thường ít khi được dùng, vì phản ứng chỉ xảy ra ở nhiệt độ rất cao, như trong các nhà máy điện nhiệt Mặt Trời.

7.3.2. Tính nhiệt năng khi tích trữ bằng chất cảm nhiệt

Cách tích trữ này thường được áp dụng trong kỹ thuật năng lượng Mặt Trời.

a- Lượng nhiệt được tích trong một chu kỳ (t_1, t_2).

Giả sử bình chứa có tiết diện S_R chứa một chất có nhiệt dung riêng C_R (hình 7.3.1). Tại thời điểm t_1 nhiệt độ phân bố có dạng $T_R = T_R(z, t_1)$. Tại thời điểm t_2 bình được cung cấp nhiệt nên tăng lên nhiệt độ $T_R = T_R(z, t_2)$, lượng nhiệt tích được trong khoảng thời gian từ t_1 đến t_2 là

$$q_R(t_1, t_2) = \int_0^H \rho_R C_R S_R [T_R(z, t_2) - T_R(z, t_1)] dz \quad (7.3.1)$$

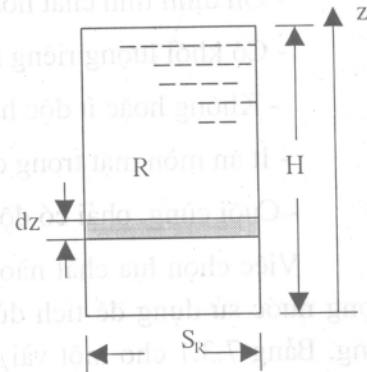
trong đó, ρ_R - khối lượng riêng của chất trữ nhiệt.

Trường hợp đặc biệt, nếu tại thời điểm $t_1 = 0$ nhiệt độ trong bình R là đồng nhất và bằng nhiệt độ môi trường T_a , gần đúng coi bằng nhiệt độ của hệ nước thành phố, thay vào (7.3.1) ta được

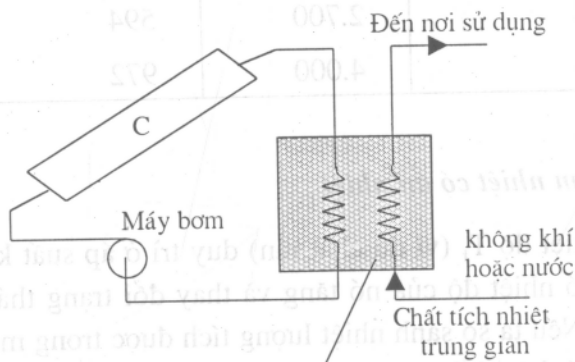
$$q_R(t) = \int_0^H \rho_R C_R S_R T_R(z, t) dz - M_R C_R T_a \quad (7.3.2)$$

trong đó, M_R = khối lượng chất trữ nhiệt trong bình chứa.

b- Tích trữ bằng chất cảm nhiệt. Trường hợp đơn giản nhất là chất lỏng nước nóng trong bình tích dùng trực tiếp cho vệ sinh gia đình. Trong trường hợp này nói chung là cần phải bổ sung thêm các dạng năng lượng khác như điện hoặc các loại nhiên liệu khác để có nước nóng sử dụng liên tục (hình 7.3.2).



Hình 7.3.1. Lượng nhiệt tích trong bình tích.



Hình 7.3.2. Hệ thu - tích nhiệt có bù nhiệt.

Khi đó hệ phải có chất tích nhiệt trung gian, với một khối lượng lớn. Chất này có thể được chọn là chất lỏng hoặc chất rắn. Trong bình chứa có hai bộ trao đổi nhiệt 1 và 2.

Chất trung gian có thể dùng các chất có những tính chất sau:

- Ổn định tính chất hoá học;
- Có khối lượng riêng lớn để giảm thể tích của bình chứa;
- Không hoặc ít độc hại;
- Ít ăn mòn mặt trong của bình chứa;
- Cuối cùng, phải có độ dẫn nhiệt và khả năng khuếch tán nhiệt thật tốt.

Việc chọn lựa chất nào cần quan tâm đến giá thành của thiết bị và phụ thuộc khối lượng nước sử dụng để tích đủ nhiệt lượng cần thiết cung cấp đầy đủ theo nhu cầu sử dụng. Bảng 7.3.1 cho một vài chất có thể sử dụng để tích nhiệt và tỷ lệ giá đơn vị của chúng so với phôi sắt. Nếu lấy giá của phôi sắt bằng 1 đơn vị

Bảng 7.3.1

Vật liệu	Nhiệt dung riêng khối lượng	Khối lượng riêng	Nhiệt dung riêng thể tích	Giá đơn vị
	kcal.kg ⁻¹ .K ⁻¹	kg.m ⁻³	kcal.m ⁻³ .K ⁻¹	tỷ lệ
Phôi sắt	0,12	7.850	924	1,00
Phôi nhôm	0,23	2.700	621	2,80
Bê tông	0,27	2.240	605	0,10
Sỏi	0,20	2.250	428	0,10
Gạch	0,20	2.240	448	1,80
CaCO ₃	0,23	2.900	667	0,15
Na ₂ SO ₄	0,22	2.700	594	0,25
Al ₂ O ₃	0,24	4.000	972	0,50

7.3.3. Tích trữ bằng chất cảm nhiệt có ẩn nhiệt

Giả sử một chất ở nhiệt độ T_1 (ví dụ chất rắn) duy trì ở áp suất khí quyển. Khi nhận một nhiệt lượng nào đó nhiệt độ của nó tăng và thay đổi trạng thái (từ rắn sang lỏng) ở nhiệt độ $T_2 = \text{const}$. Nếu ta so sánh nhiệt lượng tích được trong một đơn vị khối lượng của vật liệu trữ nhiệt có thay đổi trạng thái do hiện tượng ẩn nhiệt với nhiệt lượng không thay đổi trạng thái thì ta nhận được tỷ số sau:

$$\frac{C_p(T_2 - T_1) + L(T_2)}{C_p(T_2 - T_1)} \quad (7.3.3)$$

trong đó, $L(T_2)$: nhiệt ẩn thay đổi trạng thái ở nhiệt độ T_2 .

Trong thực tế giá trị của $L(T_2)$ lớn hơn rất nhiều so với $C_p(T_2 - T_1)$. Do đó nếu ta chọn chất có giá trị nhiệt ẩn lớn thì thể tích của bình chứa giảm một cách đáng kể. Các phương pháp này có hai điều bất tiện:

- Quá trình thay đổi trạng thái xảy ra ở một nhiệt độ không đổi, điều này bắt buộc phải sử dụng loại vật liệu có nhiệt độ nóng chảy bằng nhiệt độ sử dụng.

- Khi thay đổi trạng thái có kèm theo thay đổi thể tích của chất tích nhiệt có ẩn nhiệt, vì vậy cần phải tính toán để xác định thể tích bình chứa cho thích hợp.

Trong thực tế các vật liệu ẩn nhiệt được phân thành hai loại:

a- Các chất sạch và cùng tinh. Các chất này không chứa hydrat và có điểm nóng chảy (điểm cùng tinh) khá cao, vì vậy chúng chỉ được dùng để tích nhiệt trong hệ thiết bị hội tụ. Nhiệt độ nóng chảy của một vài chất được dùng để tích trữ nhiệt cho trong bảng 7.3.2 dưới đây:

Bảng 7.3.2.

Vật liệu	AlCl_3	$\text{KCl} + \text{CuCl}$	$\text{KNO}_3 + \text{NaNO}_3$	$\text{KNO}_3 + \text{LiNO}_3$	$\text{NaNO}_3 + \text{LiNO}_3$	$\text{NaOH} + \text{LiOH}$
Nhiệt độ nóng chảy-điểm cùng tinh ($^{\circ}\text{C}$)	192	150	220	133	193	218

b- Các chất muối hydrat, các chất này có nhiệt độ nóng chảy khá thấp nên thường được dùng để tích trữ nhiệt trong các bình chứa của hệ thu phẳng. Một vài tính chất của loại vật liệu này được cho trong bảng 7.3.3

Bảng 7.3.3.

Muối	$(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	$(\text{LiNO}_3) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	$(\text{MgNO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + (\text{MgNO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Nhiệt độ nóng chảy ($^{\circ}\text{C}$)	32,5	30,0	130	90	55,5
Nhiệt ẩn nóng chảy (kcal.kg^{-1})	60,5	70,7	-	38,2	42

Các chất parafin là những hydrocacbon rắn có công thức $C_{13}H_{28}$, $C_{15}H_{32}$,... Chúng có nhiệt ẩn nóng chảy khoảng 35 kcal/kg và nhiệt độ nóng chảy trong khoảng từ 40°C đến 60°C tùy thuộc vào từng loại. Vì vậy nên các chất này thường được dùng để tích nhiệt trong các hệ nhiệt Mặt Trời tích nước nóng dùng cho gia đình.. Bất tiện lớn nhất của loại vật liệu này là hệ số truyền nhiệt rất thấp và giá thành lại khá cao.

Một chất khác cũng thường được dùng trong các thí nghiệm là hợp chất clorua-calcium hexahydrat. Đó là một khoáng chất khá ổn định là những tinh thể tách lớp, có tên khoáng sản là chliarolithe (đá ẩm). Hợp chất này có các tính chất vật lý sau:

- Nhiệt độ nóng chảy (điểm cùng tính): 28°C,
- Ẩn nhiệt nóng chảy: 32kcal/kg,
- Tỷ khối thể tích: 15kg/m³,
- Thay đổi thể tích khi đông đặc: ~10%,
- Độ dẫn nhiệt: 0,5W/(m.K),
- Nhiệt dung riêng đẳng áp C_p : 0,6kcal/(kg.K).

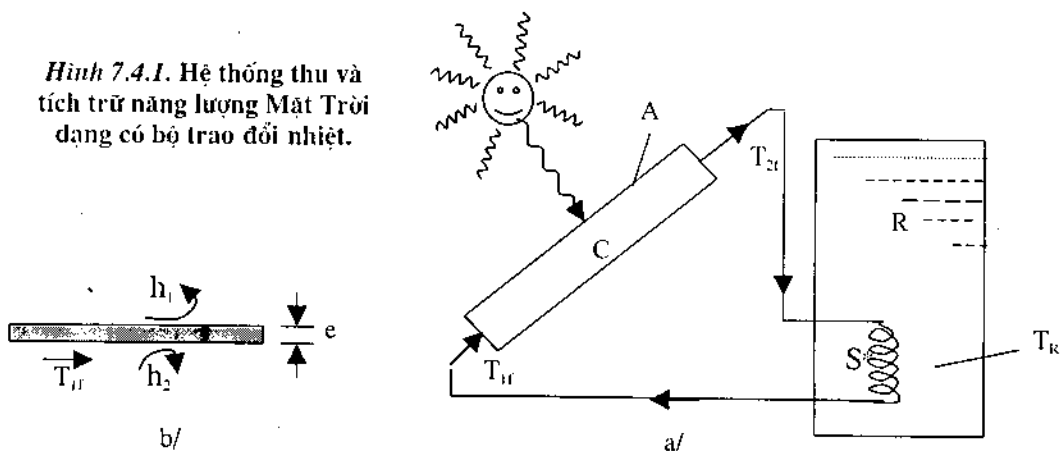
Các tính chất nhiệt và cơ của vật liệu đã được thử nghiệm gia tốc trên 5.000 chu kỳ nóng chảy và đông đặc được tiến hành bởi Brevet INRA-CEA.

§7.4. Kích thước của các bộ trao đổi nhiệt (hệ thu-tích nhiệt)

7.4.1. Bộ trao đổi nhiệt - bình tích nhiệt

Ta xét một hệ gồm: bộ thu phẳng C có diện tích nhận bức xạ A, bình tích nhiệt R, và bộ trao đổi nhiệt có diện tích trao đổi nhiệt S^* , (hình 7.4.1a).

Hình 7.4.1. Hệ thống thu và tích trữ năng lượng Mặt Trời dạng có bộ trao đổi nhiệt.



Ở đây kích thước của bộ trao đổi nhiệt đóng một vai trò rất quan trọng. Trong thực tế nếu kích thước nhỏ hơn hoặc lớn hơn kích thước chuẩn đều là không có hiệu quả. Ta giả thiết rằng nhiệt độ T_R của chất lỏng trong bình tích ở sát cạnh bộ trao đổi nhiệt được coi là không đổi, thì diện tích trao đổi nhiệt có thể được tính bằng công thức

$$S^* = \frac{q_R}{k} \frac{\log \frac{T_{2f} - T_{1f}}{T_{1f} - T_R}}{T_{2f} - T_{1f}} \quad (7.4.1)$$

trong đó, S^* = diện tích trao đổi nhiệt (mặt bao của các ống trong trường hợp bộ trao đổi có dạng ống xoắn;

k = hệ số trao đổi nhiệt toàn phần của bộ trao đổi nhiệt, với nhiệt trở bằng

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{h_1} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_2} \quad (7.4.2)$$

λ = hệ số dẫn nhiệt của vật liệu cấu tạo nên bộ trao đổi nhiệt,

h_1, h_2 = hệ số trao đổi nhiệt đối lưu tương ứng với mặt ngoài và mặt trong của ống (tấm), xem (hình 7.4.1b)

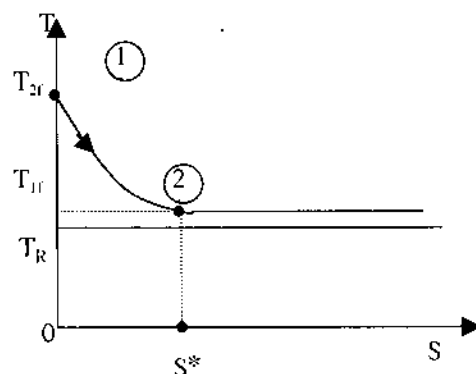
Một cách tổng quát, nhiệt lượng mà chất lỏng trong bình chứa nhận được là

$$\dot{q}_R = \dot{m}_f C_f (T_{2f} - T_{1f}) \sim \dot{q}_t = HR_b A \eta_c \quad (7.4.3)$$

trong đó A : diện tích của bộ thu phẳng, hoặc gần đúng diện tích của mặt hấp thụ.

Từ đó đối với một bộ thu cho trước đã biết diện tích A và hiệu suất trung bình η_c , nếu chọn nhiệt độ trung bình của bình chứa $T_R \sim T_{1f}$, thì từ (7.4.3) ta có thể xác định được $\dot{q}_R$ và T_{2f} . Khi đã biết giá trị của k người ta có thể tính được diện tích trao đổi nhiệt của bộ trao đổi nhiệt S^* phù hợp với hệ này.

Lẽ dĩ nhiên là sau đó phải kiểm tra lại giá trị của hiệu suất η_c , nếu phù hợp với giá trị đã cho thì cách làm vừa rồi là đúng, nếu có sai khác nhiều thì phải chọn lại các giả thiết để có được nhiệt độ T_R như mong muốn. Mặt khác cũng cần phải nhắc lại rằng phân bố nhiệt độ trong bộ trao đổi nhiệt phụ thuộc diện tích trao đổi nhiệt theo một đường cong $T = T(S)$ dưới dạng hàm mũ cơ số tự nhiên (exponentielle) tăng



Hình 7.4.2. Đường cong nhiệt độ bình tích nhiệt phụ thuộc diện tích S .

hoặc giảm như mô tả trên hình 7.4.2 và hình 7.4.3.

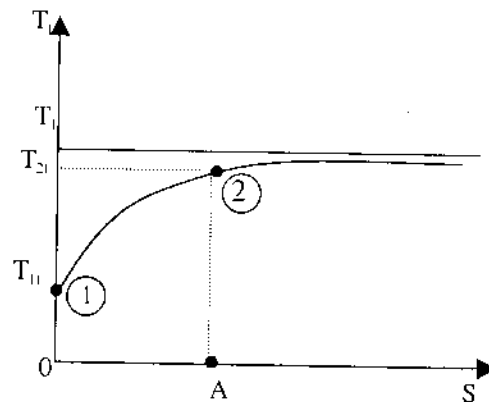
Đối với một diện tích trao đổi nhiệt S^* của một bộ trao đổi nhiệt người ta có một nhiệt độ T_{ir} xác định (hình 7.4.2). Để có một bộ trao đổi nhiệt làm việc trong điều kiện hiệu quả tối ưu. Điều quan trọng là giá trị của S^* phải ứng với điểm 2 không lệch quá xa về phía phải hoặc phía trái trên đường cong $T = T(S)$.

7.4.2. Bộ trao đổi nhiệt và bộ thu phẳng

Trong bộ thu C (hình 7.4.1a) cũng làm tương tự như trên. Giả thiết nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ là T_1 thì người ta cũng nhận được đường cong nhiệt độ của chất tải nhiệt T_f cho bởi phương trình sau:

$$T_f = T_1 - (T_1 - T_i) \exp\left(-\frac{k'S}{\dot{m}_f C_f}\right) \quad (7.4.3)$$

Đối với một bộ thu cho trước diện tích của mặt hấp thụ là A , ở đây cần phải kiểm tra nhiệt độ đầu ra của bộ thu (điểm 2) trên đường cong $T = T(f)$ sao cho phù hợp. Người ta có thể điều chỉnh lưu lượng để làm thay đổi vị trí của điểm này. Ở đây cũng cần nhấn mạnh rằng hai bộ trao đổi nhiệt không làm việc có hiệu quả tối ưu trong cùng một điều kiện, mà ta chỉ có thể điều chỉnh sao cho đạt được hiệu quả tối ưu của cả hệ.



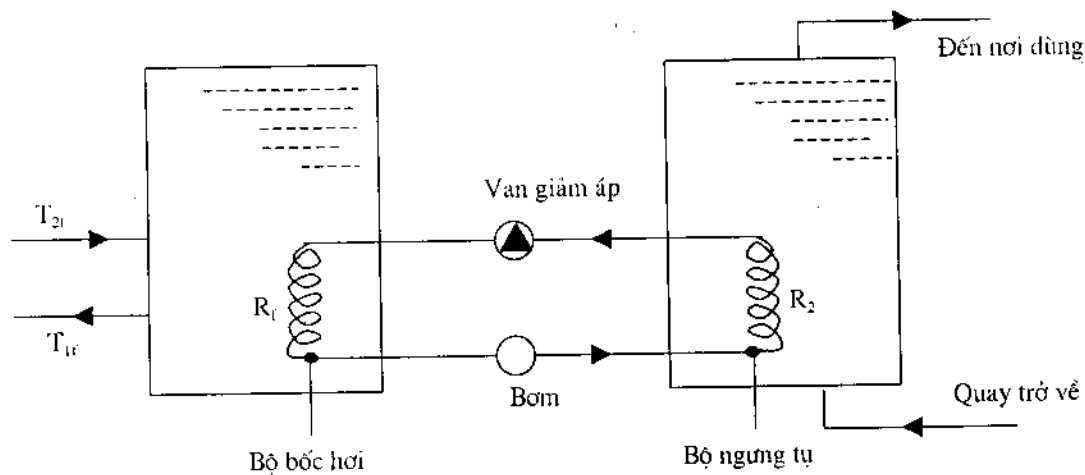
Hình 7.4.3. Đường cong nhiệt độ chất tải nhiệt phụ thuộc diện tích A .

§7.5. Một vài điều kết luận

Tóm lại, cần phải nói rằng một bộ thu phẳng có một hiệu suất rất tốt nếu nhiệt độ của tấm hấp thụ thấp, có nghĩa là chất tải nhiệt tiếp xúc được với tấm hấp thụ ở nhiệt độ thấp, cũng có nghĩa là nhiệt độ của bình tích nhiệt cũng thấp. Như vậy muốn hệ thu và tích nhiệt có hiệu suất cao thì chất tải nhiệt (nước chẳng hạn) trong bình tích phải duy trì ở nhiệt độ thấp khoảng 30-40°C. Một trong những ứng dụng năng lượng Mặt Trời tốt nhất là cung cấp nước nóng cho các bể bơi. Ở đây hiệu suất của các bộ thu phẳng có thể đạt tới 60 - 70%.

Ngược lại, khi sử dụng yêu cầu nhiệt độ khá cao thì người ta phải làm hai bình chứa: một bình R_1 có nhiệt độ tương đối thấp nối trực tiếp với bộ thu phẳng (hình 7.5.1), còn bình thứ hai R_2 có nhiệt độ tương đối cao (khoảng 35-50°C). Bộ bốc hơi tiếp xúc với

R_1 , lấy nhiệt và chuyển sang bộ ngưng tụ tiếp xúc với R_2 và toả nhiệt. Nếu nhiệt độ ở R_1 là 30°C muốn bình R_2 có nhiệt độ 45°C ta phải dùng một bộ bù nhiệt. Để có hiệu suất cao phải làm cho nhiệt độ chất lỏng trong bình R_2 phân bố đồng đều, để tăng hiệu quả quá trình trao đổi nhiệt giữa R_2 và chất tải nhiệt chứa trong bình.



Hình 7.5.1. Hệ ghép nối bộ thu phẳng và bơm nhiệt.

Cũng phải nhấn mạnh một điều là việc tích nhiệt giữa các mùa hiện nay chưa phải là một giải pháp tối ưu. Mặt khác bài toán về hoạt động của hệ thu phẳng ở chế độ quá độ cũng còn chưa được khảo sát một cách đầy đủ.

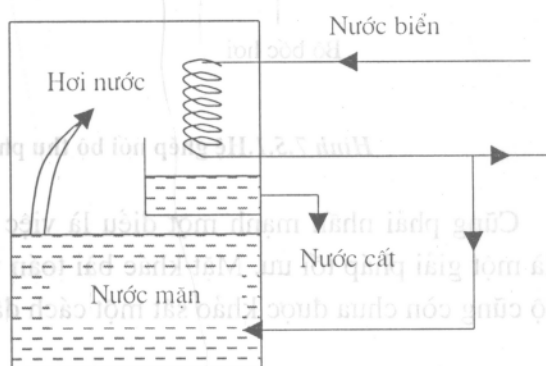
ỨNG DỤNG HIỆU ỨNG NHÀ KÍNH ĐỂ CHUNG CẤT NƯỚC

§8.1. Nguyên lý của chung cất nước

8.1.1. Chung cất theo phương pháp cổ điển

Nguyên lý cơ bản của chung cất nước mặn, nước lợ hoặc nước phèn tương tự như quá trình nấu rượu bằng phương pháp cổ điển thường được sử dụng trên các tàu biển ngày xưa. Hệ chung cất cổ điển được mô tả bằng sơ đồ đơn giản trên hình 8.1.1.

Một thùng chứa nước biển mặn. Nước mặn trong thùng nhận nhiệt từ các bóng đèn hoặc bằng dây điện trở. Nước bốc hơi bay lên gặp bộ trao đổi nhiệt có nước biển lạnh chảy bên trong, hơi nước ngưng tụ thành giọt và rơi vào khay hứng nước cất (ngọt) đặt ngay phía dưới bộ trao đổi nhiệt và được dẫn ra ngoài. Một phần nước biển lạnh được bổ sung vào thùng bù cho phần nước đã bốc hơi.



Hình 8.1.1. Sơ đồ nguyên lý chung cất nước.

Vì vậy, hệ phải bao gồm một nguồn nóng và một nguồn lạnh. Hiệu suất toàn phần của hệ có thể được định nghĩa bằng biểu thức dưới đây

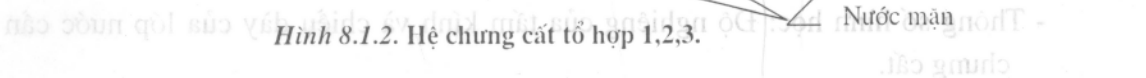
$$\eta_g = \frac{\dot{m}_d L}{\dot{q}} \quad (8.1.1)$$

trong đó, $\dot{m}_d$ = lưu lượng nước cất, kg/s;

L = nhiệt ẩn hoá hơi của nước ở nhiệt độ của nguồn nóng, kcal/kg;

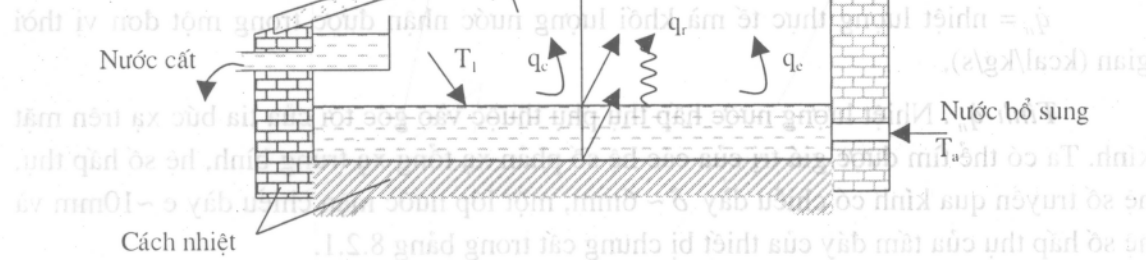
$\dot{m}_d L$ = nhiệt hiệu dụng;

$\dot{q}$ = Nhiệt lượng cung cấp cho khối lượng nước để chưng cất trong một đơn vị thời gian, kcal/kg.s.



8.1.2. Thiết bị chưng cất nước bằng năng lượng Mặt Trời dạng phẳng

đáy của tấm kính, rồi được dẫn ra ngoài, (hình 8.1.3)



Hình 8.1.3. Sơ đồ thiết bị chung cất nước bằng năng lượng mặt trời dạng phẳng.

Nước bốc hơi bay lên đã tạo ra dòng hơi "chảy" tuần hoàn bên trong bề kín, giống như siphon nhiệt nhờ chênh lệch nhiệt độ $T_1 - T_2$ giữa nguồn nóng (mặt nước) và (mặt kính) nguồn lạnh.

§8.2. Các thông số và những đặc trưng của thiết bị chưng cất dạng phẳng

Như chúng ta đã định nghĩa tổng quát về bộ thu phẳng, ở đây ta cũng định nghĩa các tính chất đặc trưng của thiết bị chưng cất nước như sau:

8.2.1. Các thông số bên ngoài

- Thông số về thời gian nắng,
- Thông số khí tượng thuỷ văn, đặc biệt quan tâm đến vận tốc gió thổi trên mặt kính.

8.2.2. Các thông số bên trong

- Thông số hình học: Độ nghiêng của tấm kính và chiều dày của lớp nước cần chưng cất.
- Các thông số hoạt động của thiết bị: Độ chênh lệch nhiệt độ giữa môi trường và chất lỏng, đặc biệt là nhiệt độ của nước bổ sung và nhiệt độ của nước cất.

8.2.3. Các đặc trưng hoạt động của thiết bị

- Lưu lượng của nước cất: $\dot{m}_d$ (kg/s)

- Hiệu suất toàn phần:
$$\bar{\eta}_g = \frac{\dot{m}_d L}{A \cdot HR_b} = \frac{\dot{q}_c}{A \cdot HR_b}$$

trong đó, A = diện tích mặt hứng nắng của thiết bị, diện tích của kính, (m^2);

$\dot{q}$ = nhiệt lượng có ích (hiệu dụng) bốc hơi trong một đơn vị thời gian, (kg/s).

- Hiệu suất bốc hơi:
$$\eta_i = \frac{\dot{m}_d L}{\dot{q}_n},$$

$\dot{q}_n$ = nhiệt lượng thực tế mà khối lượng nước nhận được trong một đơn vị thời gian (kcal/kg/s),

Tính $\dot{q}_n$. Nhiệt lượng nước hấp thụ phụ thuộc vào góc tới của tia bức xạ trên mặt kính. Ta có thể tìm được giá trị của các hệ số phản xạ tổng xạ trung bình, hệ số hấp thụ, hệ số truyền qua kính có chiều dày $\delta \sim 6\text{mm}$, một lớp nước mỏng chiều dày $e \sim 10\text{mm}$ và hệ số hấp thụ của tấm đáy của thiết bị chưng cất trong bảng 8.2.1.

Khi có cường độ bức xạ HR_b ta tính được giá trị $\dot{q}_n$ bằng công thức sau:

$$\dot{q}_n = [HR_b(\tau_v \alpha_c) + HR_b(\tau_v \tau_c \alpha_f)]A \quad (8.2.1)$$

ở đây, - τ_v = hệ số truyền qua của kính;

- τ_c = hệ số truyền qua của nước;

- α_f = hệ số hấp thụ của đáy.

Ta thừa nhận rằng nhiệt hấp thụ bởi đáy bị chia xẻ cho cả dẫn nhiệt và đối lưu trong khối nước. Do đó ta có thể định nghĩa hệ số hấp thụ của tấm đáy bằng công thức:

$$\dot{q}_n = \alpha_f HR_b A \quad (8.2.2)$$

với
$$\alpha_f = \tau_v \alpha_c + \tau_v \tau_c \alpha_f \quad (8.2.3)$$

Ví dụ. Khi góc tới $i = 30^\circ$, ta có $\alpha_f = 0,85$

Bảng 8.2.1

Góc tới của tia bức xạ (độ)		0 - 30	45	60
Kính	hệ số phản xạ (%)	5	6	10
	hệ số hấp thụ (%)	5	5	5
	hệ số truyền qua (%)	90	89	85
Lớp nước	hệ số phản xạ (%)	2	3	6
	hệ số hấp thụ (%)	30	30	30
	hệ số truyền qua (%)	68	67	64
Tấm đáy	hệ số phản xạ (%)	5	5	5
	hệ số hấp thụ (%)	95	95	95
	hệ số truyền qua (%)	0	0	0

§8.3. Thiết lập các phương trình trao đổi nhiệt

Dựa trên hình 8.1.3 ta xét hệ ở chế độ dừng, và bỏ qua nhiệt tổn thất qua thành chung quanh, vì nó rất nhỏ so với nhiệt mà khối nước nhận được. Từ đó ta có thể viết được các phương trình cân bằng năng lượng sau đây

8.3.1. Cân bằng nhiệt trong khối nước

$$\dot{q}_r + \dot{q}_c + \dot{q}_e + \dot{m}_d C_e (T_1 - T_d) = \alpha_f HR_b A \quad (8.3.1)$$

ở đây, $-\dot{q}_r, \dot{q}_c, \dot{q}_e$: tương ứng với tổn thất nhiệt do bức xạ, đối lưu và bốc hơi bởi khối nước trong một đơn vị thời gian

- $\dot{m}_d C_e (T_1 - T_a)$: nhiệt tổn thất cho lượng nước mới bổ sung có nhiệt độ T_a và nhiệt dung riêng của nước C_e .

Thêm vào đó, ta có: $\dot{q}_c = \dot{m}_d L(T_1)$, do đó ta có thể viết:

$$\dot{q}_r + \dot{q}_c + \dot{q}_e = \varphi(T_1, T_a, \dot{m}_d)$$

và phương trình (8.3.1) trở thành

$$\varphi(T_1, T_a, \dot{m}_d) + \dot{m}_d C_e (T_1 - T_a) = \alpha_1 A. I R_b \quad (8.3.1)'$$

Nhưng $\dot{q}_c$ và $\dot{q}_e$ có liên hệ với nhau qua công thức

$$\dot{q}_e = 16.276.10^{-3} \dot{q}_c \frac{(p_1 - p_a)}{(T_1 - T_a)} \quad (8.3.2)$$

ở đây, p_1 và p_a tương ứng áp suất riêng phần của hơi nước (gần như bão hòa) ở nhiệt độ T_1 và T_a

8.3.2. Cân bằng nhiệt trên tấm kính

Lượng nhiệt mà kính nhận được bị tổn thất do dẫn nhiệt qua nó, hay

$$\dot{q}_r + \dot{q}_c + \dot{q}_e = \frac{\lambda_v}{\delta} (T_1 - T_c) A \quad (8.3.3)$$

trong đó, λ_v = hệ số dẫn nhiệt của kính (W/m.K);

δ = chiều dày của tấm kính (m).

Giả thiết rằng $\dot{q}_e$ bằng nhiệt lượng ngưng tụ toả ra ở mặt trong của tấm kính.

8.3.3. Trao đổi nhiệt giữa kính và môi trường

Năng lượng nhiệt truyền qua kính ra môi trường bên ngoài được tính bằng công thức

$$\frac{\lambda_v}{\delta} (T_1 - T_c) A = h_c (T_c - T_a) A + h_r (T_c - T_a) A \quad (8.3.4)$$

ở đây, h_c, h_r tương ứng là hệ số trao đổi nhiệt đối lưu và bức xạ bên ngoài tấm kính.

Giải hệ 4 phương trình trên bằng các phương pháp khác nhau trên máy vi tính ta có thể tìm được các biến số: $T_1, T_i, T_c, \dot{m}_d$.

§8.4. Các kết quả thực nghiệm và những giá trị thực tế

Trong mục này chúng ta sẽ tổng kết tác động của các thông số cơ bản đối với

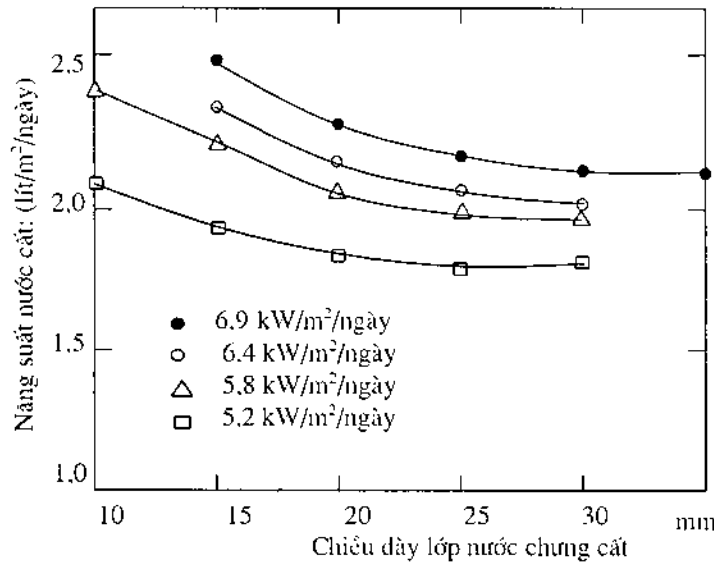
hoạt động của hệ chưng cất nước bằng năng lượng Mặt Trời. Các phương pháp thực nghiệm được tiến hành trên hai hệ chưng cất giống hệt nhau và đặt cùng một nơi. Người ta cho thay đổi thông số của một trong hai hệ để xác định ảnh hưởng của thông số này đến chức năng hoạt động của hệ. Các thông số cần khảo sát sẽ được trình bày dưới đây:

8.4.1. Độ nghiêng của tấm kính

Nếu độ nghiêng của tấm kính tăng thì phản bóng che của nó lên mặt nước nói chung cũng tăng. Do đó phải quan tâm đến việc chọn một độ nghiêng nhỏ nhất. Dĩ nhiên, là không quá nhỏ để cho những giọt nước ngọt bị tách rời khỏi mặt kính trước khi chảy đến cạnh đáy của tấm kính. Thực nghiệm cho thấy độ nghiêng tốt nhất là 15°

8.4.2. Chiều dày của lớp nước chưng cất

Các kết quả thực nghiệm cho thấy ảnh hưởng của cường độ bức xạ tới cũng như chiều dày lớp nước chưng cất đến lượng nước sạch như đã cho trên hình 8.4.1

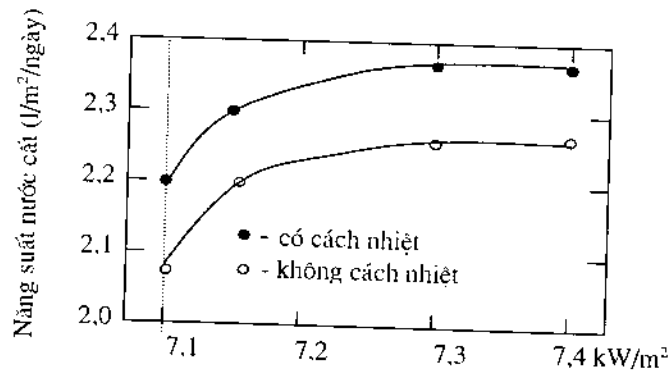


Hình 8.4.1. Đường cong năng suất nước cất phụ thuộc cường độ bức xạ và chiều dày lớp nước chưng cất.

Từ hình 8.4.1 ta thấy năng suất nước cất trong ngày tăng khi cường độ bức xạ tăng và chiều dày lớp nước chưng cất giảm. Vì khi đó quán tính nhiệt của hệ là bé nhất.

8.4.3. Cách nhiệt đối với thiết bị chưng cất

Mặt đáy thường được sơn một lớp màu xám hoặc đen, chung quanh và phía sau được lót một lớp cách nhiệt để giảm tổn thất nhiệt. Trên hình 8.4.2 mô tả các đường



Hình 8.4.2. Đường cong năng suất nước cất.

cong có và không có lớp cách nhiệt phía đáy và thành chung quanh. Qua đó ta thấy khi không có lớp cách nhiệt thì năng suất giảm từ 4 đến 6%.

8.4.4. Trạng thái bề mặt của mặt trong của thiết bị chưng cất

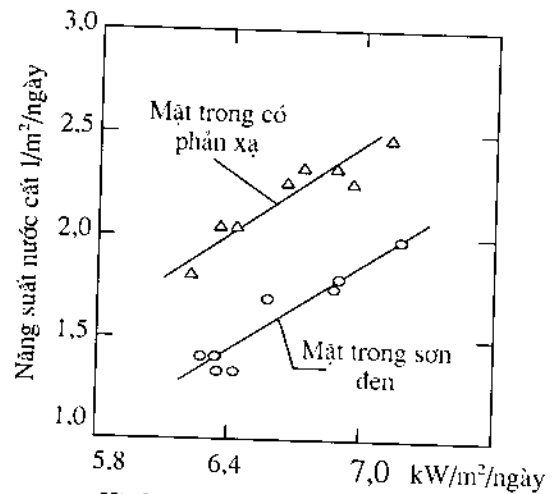
Bề mặt trong của thiết bị chưng cất có thể gây ra phản xạ hoặc hấp thụ bức xạ. Ảnh hưởng của trạng thái bề mặt thành chung quanh bên trong như mô tả trên (hình 8.4.3). Người ta nhận thấy rằng mặt trong của thiết bị chưng cất nên là mặt phản xạ, nếu không thì năng suất của hệ có thể giảm khoảng 25%. Mặt khác, các điều kiện khí quyển cũng có những ảnh hưởng đến năng suất:

- Năng suất chưng cất tăng tuyến tính với sự gia tăng cường độ bức xạ.

- Về vận tốc gió. Gió mạnh có một ảnh hưởng bất lợi đến năng suất. Tuy nhiên dường như vận tốc gió phải có một giá trị tối ưu nào đó. Trong thực tế người ta thấy ảnh hưởng của vận tốc gió đến hiệu suất chưng cất là không đáng kể.

8.4.5. Ảnh hưởng của các thông số về thời tiết đến các đặc trưng của thiết bị chưng cất phẳng

Các đặc trưng của thiết bị chưng cất phẳng có giá trị thay đổi tùy thuộc vào thời tiết khi quan sát (trời trong sáng, trung bình hay mưa) và phụ thuộc vào các điều kiện thời tiết, đặc biệt là nhiệt độ môi trường và vận tốc gió.



Hình 8.4.3. Trạng thái bề mặt trong và cường độ bức xạ ảnh hưởng đến năng suất nước cất.

Ví dụ, khi trời sáng tỏ, ở các vĩ tuyến từ 40-50°N người ta thu được các kết quả sau:

- năng suất chưng cất: từ 3 - 5 lít/m²/ngày;
- hiệu suất toàn phần: đạt 25-35%;
- ở điều kiện nhiệt độ môi trường $T_a \sim 20^\circ\text{C}$ thì giá trị nhiệt độ trung bình của các bộ phận của thiết bị đo được là: $T_c \sim 30^\circ\text{C}$, $T_i \sim 35^\circ\text{C}$, $T_l \sim 40^\circ\text{C}$.

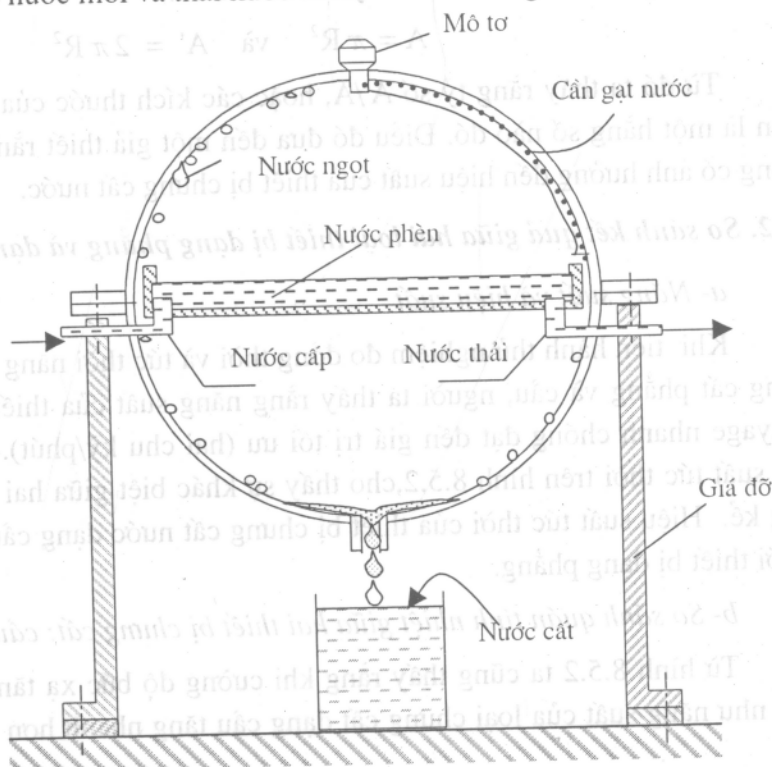
§8.5. Thiết bị chưng cất dạng cầu BALAYAGE

Sau khi nghiên cứu thiết bị chưng cất nước bằng năng lượng Mặt Trời dạng phẳng, chúng ta sẽ khảo sát một thiết bị chưng cất mới *dạng cầu* được tiến hành thử nghiệm ở Balayage, gọi là *thiết bị chưng cất nước Balayage*.

8.5.1. Nguyên lý cấu tạo

Hệ gồm hai nửa bán cầu bằng thủy tinh có đường kính bằng nhau, có thể úp khít vào nhau (hình 8.5.1). Quanh miệng của mỗi bán cầu có gắn một vành đai để ghép chặt và để làm khung gá lên chân giá đỡ. Đỉnh của bán cầu trên được lắp một mô tơ quay cân gạt nước, để gạt những giọt nước ngưng tụ đọng ở mặt trong của bán cầu trên. Đáy của bán cầu dưới được khoét một lỗ để thu gom nước ngọt và cho chảy vào thùng chứa. Một khay hình đĩa được đặt ở giữa hình cầu để đựng nước cân chưng cất. Đĩa có hai lỗ nối ra ngoài để cấp nước mới và thải nước thừa sau khi chưng cất ra ngoài.

Hình 8.5.1. Thiết bị chưng cất dạng cầu ở Balayage.



Mô hình này có những đặc điểm sau:

- Nhờ có dạng hình cầu nên suốt cả ngày và các ngày trong năm không bao giờ khay chứa nước bị bóng râm của thành che khuất như loại thiết bị chung cất dạng phẳng;

- Thành bên và phần dưới được cách nhiệt tốt nên nhiệt không bị truyền ra ngoài mà chỉ nâng nhiệt độ của tất cả các bộ phận bên trong thiết bị chung cất;

- Khó loại trừ được tổn thất nhiệt qua bộ phận liên kết giữa khay chứa nước và giá đỡ.

- Nước ngưng tụ ở mặt kính phía trong gây nên phản xạ một phần đáng kể các tia bức xạ, nhất là trên các giọt nước ngọt.

- Khó khăn trong việc làm sạch và đưa các chất cặn bám ở đáy khay chứa ra ngoài. Nếu sử dụng lâu dài mặt dưới của bán cầu trên sẽ bị chất bẩn bám chặt ngày càng dày, làm cho khả năng truyền qua của bức xạ ngày càng yếu. Tuy nhiên, nếu lắp thêm bộ phận cần gạt thì có thể khắc phục được sự hạn chế này.

Việc thiết lập các phương trình cân bằng năng lượng cho các bộ phận khác nhau của hệ cũng có thể làm tương tự như các phương trình (8.3.1), (8.3.2), (8.3.3), và (8.3.4). Tuy nhiên phải chú ý sự khác biệt của hệ chung cất nước dạng cầu là: mặt tiếp nhận bức xạ của bán cầu trên là A' , còn diện tích khay chứa nước chung cất mặt đĩa tròn là A . Nếu gọi bán kính của đĩa khay là R thì ta có:

$$A = \pi R^2 \quad \text{và} \quad A' = 2\pi R^2$$

Từ đó ta thấy rằng tỷ số A'/A , hoặc các kích thước của hệ đối với hình dáng đã chọn là một hằng số nào đó. Điều đó đưa đến một giả thiết rằng trong thực tế tỷ lệ này không có ảnh hưởng đến hiệu suất của thiết bị chung cất nước.

8.5.2. So sánh kết quả giữa hai loại thiết bị dạng phẳng và dạng cầu

a- Năng suất và hiệu suất

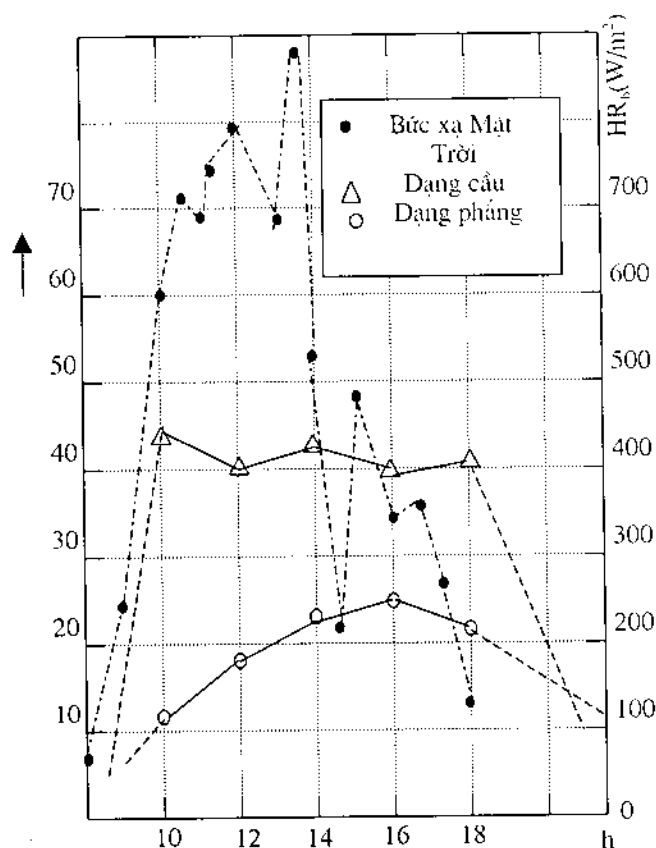
Khi tiến hành thử nghiệm đo đồng thời và tức thời năng suất của hai loại thiết bị chung cất phẳng và cầu, người ta thấy rằng năng suất của thiết bị chung cất dạng cầu Balayage nhanh chóng đạt đến giá trị tối ưu (hai chu kỳ/phút). Các đường cong mô tả hiệu suất tức thời trên hình 8.5.2, cho thấy sự khác biệt giữa hai loại thiết bị này là rất đáng kể. Hiệu suất tức thời của thiết bị chung cất nước dạng cầu Balayage cao hơn hẳn so với thiết bị dạng phẳng.

b- So sánh quán tính nhiệt giữa hai thiết bị chung cất: cầu và phẳng

Từ hình 8.5.2 ta cũng thấy rằng khi cường độ bức xạ tăng thì hiệu suất tức thời cũng như năng suất của loại chung cất dạng cầu tăng nhanh hơn dạng phẳng, nhưng khi

cường độ bức xạ giảm thì năng suất tức thời cũng giảm nhanh hơn loại phẳng. Điều đó có nghĩa rằng quán tính nhiệt trong thiết bị chưng cất dạng cầu nhỏ hơn dạng phẳng.

8.5.3. Các đặc trưng của thiết bị chưng cất dạng cầu



Hình 8.5.2. So sánh hiệu suất giữa hai loại thiết bị.

Các đặc trưng trong dạng cầu phụ thuộc một cách đáng kể vào các điều kiện khí tượng giống như dạng phẳng. Ví dụ khi trời trong sáng ở các vĩ độ từ 40-50°N người ta nhận được các giá trị trung bình sau:

- năng suất: từ 5 - 7 lít/m²/ngày;
- hiệu suất toàn phần: từ 35 - 50%;

- khi nhiệt độ trung bình của môi trường $T_a = 20^\circ\text{C}$ thì nhiệt độ trung bình của các bộ phận khác nhau là:

$$T_c = 30^\circ\text{C}, \quad T_i = 35^\circ\text{C}, \quad T_l = 50^\circ\text{C}.$$

§8.6. Những kết luận đối với các thiết bị chưng cất nước bằng năng lượng Mặt Trời

Vấn đề sản xuất nước ngọt bằng năng lượng Mặt Trời rất quan trọng theo hai quan điểm: tiết kiệm năng lượng và mối bận tâm của việc đảm bảo các nguồn nước sạch cho các vùng khan hiếm nước ngọt.

Như trên chúng ta chứng minh được là các thiết bị chưng cất nước bằng năng lượng Mặt Trời là rất đơn giản, mặt khác việc sản xuất các thiết bị này cũng không quá phức tạp. Những điều kiện khí tượng ở nước ta có thể cho phép áp dụng loại thiết bị chưng cất dạng phẳng hay dạng cầu sao cho năng suất cũng như giá thành của nước sạch là thấp nhất. Vấn đề còn lại là làm thế nào để phổ biến ứng dụng rộng rãi các hệ này để sản xuất nước sạch, xử lý nước đã qua sử dụng v.v... Đặc biệt là cải thiện được đời sống cho dân cư thuộc các vùng nước nhiễm phèn, nhiễm mặn ở ven biển và trên các hải đảo thiếu nước ngọt.

Chương 9

CÁC LOẠI VẬT LIỆU DÙNG TRONG THIẾT BỊ NHIỆT MẶT TRỜI

Khi thiết kế và triển khai ứng dụng nhiệt năng lượng Mặt Trời thường gặp một vấn đề rất quan trọng là dùng loại vật liệu nào để chế tạo các thiết bị này, nhằm đảm bảo được các yêu cầu kỹ thuật và đạt được hiệu quả kinh tế cao nhất. Trong chương này chúng tôi sẽ đề cập đến vấn đề này, để giúp cho bạn đọc cũng như các nhà thiết kế có được một vài số liệu cơ bản để tham khảo trong quá trình thực hiện công việc của mình có hiệu quả hơn.

Một đặc điểm quan trọng nhất là các thiết bị nhiệt Mặt Trời bao giờ cũng được đặt ở ngoài trời, luôn phải chịu tác động của bức xạ Mặt Trời, đặc biệt là các tia tử ngoại, nóng ẩm, mưa, gió bão v.v., nên các loại vật liệu phải chịu đựng được trong suốt quá trình hoạt động của thiết bị, ít nhất là từ mười năm trở lên. Vì vậy, khi chọn các vật liệu để chế tạo một thiết bị nhiệt phải quan tâm đến các yêu cầu sau đây:

a- Tác động của các tia tử ngoại. Vì các tia tử ngoại có thể làm thay đổi cấu trúc hoá học của vật liệu bằng chất dẻo polyme, đặc biệt là làm già hoá nhanh các loại chất dẻo, làm giảm độ trong suốt của các tấm đây, và làm tăng tính giòn của vật liệu...;

b- Tác động của nước mưa, làm cho vật liệu thấm nước, gây chóng hư hỏng và quan trọng hơn là khi thấm nước độ dẫn nhiệt của vật liệu tăng làm cho tổn thất nhiệt qua thành chung quanh tăng, dẫn tới làm giảm hiệu suất của thiết bị;

c- Tác động do ôxy hoá, các loại vật liệu bằng thép dễ bị han gỉ, đặc biệt là ở những nơi gần các khu công nghiệp hoá chất, trên bờ biển trong không khí có chứa nhiều hơi nước mặn làm cho vật liệu nhanh chóng bị han gỉ;

d- Mưa đá, có thể làm vỡ các tấm kính đây;

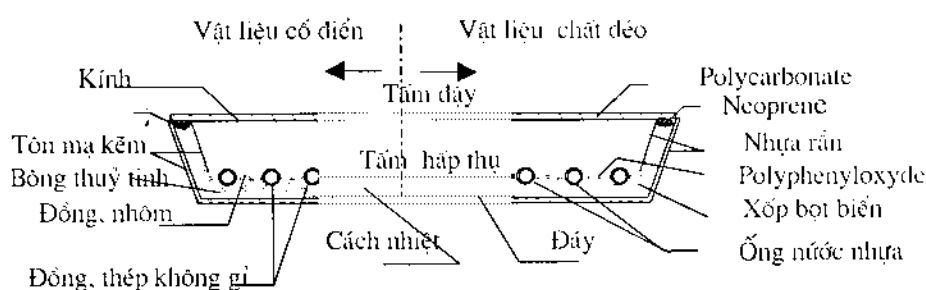
e- Gió bão làm đổ vỡ, trong gió mạnh có mang theo cát và những vật cứng làm xước mặt kính đây, làm giảm hệ số truyền qua của bức xạ Mặt Trời;

f- Sự thay đổi nhiệt độ từ mùa đông ($5-10^{\circ}\text{C}$) sang mùa hè (nhiệt độ của tấm hấp thụ $130-150^{\circ}\text{C}$), sự giãn nở nhiệt giữa các vật liệu khác nhau là khác nhau, nên có thể gây ra nứt vỡ làm hư hỏng thiết bị;

g- Bụi, thường bám lên mặt ngoài của kính, làm giảm độ truyền qua, nhất là ở khu vực trong thành phố, gần khu công nghiệp, gần đường ô tô nhiều bụi v.v...

Để khắc phục những khó khăn này trong thị trường hiện nay có nhiều loại vật liệu có thể đáp ứng được các yêu cầu trên mà giá thành có thể chấp nhận được. Tuy nhiên ở các địa phương xa thành phố khó tìm được vật liệu như mong muốn, đôi khi phải tìm các vật liệu khác tại địa phương để thay thế.

Dưới đây chúng tôi giới thiệu các bộ phận khác nhau trong một bộ thu với vật liệu tương ứng như mô tả trên hình 9.1.1



Hình 9.1.1. Sơ đồ sử dụng vật liệu làm các bộ phận của bộ thu.

Dưới đây sẽ phân tích chi tiết việc sử dụng các loại vật liệu cấu tạo nên các bộ phận trong bộ thu phẳng.

§9.1. Tấm dây trong suốt

Để đỡ tôn kẽm trong nhiều trường hợp (như khi sử dụng nước nhiệt độ thấp, ví dụ như ở các bể bơi), người ta chỉ cần phủ bên trên tấm hấp thụ một hoặc hai tấm chất dẻo trong suốt để giữ lại các bức xạ nhiệt (có bước sóng dài) và cho qua được tất cả bức xạ Mặt Trời. Hiện nay người ta thường dùng ba loại vật liệu trong suốt dưới đây để làm tấm dây:

9.1.1. Kính xây dựng

Kính xây dựng có hai loại: trong suốt và có màu xanh. Người ta thường dùng loại trong suốt, (vì trong kính màu xanh có chứa hàm lượng oxit sắt cao, hấp thụ nhiều ánh sáng Mặt Trời). Với loại kính trong suốt chiều dày 3mm khi tia tới trùng với pháp tuyến của mặt phẳng kính sẽ cho qua 84 - 92% bức xạ Mặt Trời.

Sự bất tiện lớn nhất của kính là giòn, dễ vỡ, trọng lượng lớn gây khó khăn trong việc vận chuyển và lắp đặt. Nhưng khi đã lắp đặt xong thì nó rất bền vững, cấu trúc hoá học không bị thay đổi dưới tác động của bức xạ tử ngoại của ánh sáng Mặt Trời. Đôi khi

người ta lắp hai tấm kính để tăng cường hiệu quả hiệu ứng nhà kính và giảm tổn thất nhiệt lên phía trên, nhưng lại làm cho giá thành thiết bị cao và làm giảm hệ số tích truyền qua τ_{α} . Do đó khi thiết kế các công trình cần nhiệt độ cao mới nên dùng hai lớp kính đây.

9.1.2. Polycarbonat

Loại vật liệu hữu cơ này có tên thương mại là "lexan" hoặc "Macrolon". Hệ số truyền qua của vật liệu này kém thua kính một ít, khoảng 83% lúc còn mới khi tia tới trùng với pháp tuyến, nhưng giảm dần theo thời gian phơi nắng. Theo đo đạc thì sau 5 năm hệ số truyền qua giảm còn 79%. Tuy nhiên, hiệu ứng nhà kính của nó tốt hơn kính, do đó nó thường được dùng để uốn thành vòm tạo thành hai vách. Mặc dù giá của vật liệu này cao nhưng có độ bền cơ tốt nên có thể cạnh tranh được với kính trong mọi cuộc thử nghiệm.

9.1.3. Polymethacrylat methyl

Trên thị trường loại này có nhiều tên như: thủy tinh hữu cơ, hoặc kính chống vỡ, hay kính "dị ứng" nắng. Nó có các tính chất quang học khác nhau tùy thuộc vào chuỗi cấu trúc phân tử polycarbonat. Về cơ tính vật liệu này giòn, không chịu được tải nặng, không biến dạng. Nhiệt độ làm việc có thể trên 95°C (có loại đạt tới 140°C). Vật liệu này được ưa chuộng vì giá không đắt, chịu được nhiệt độ tương đối cao và dễ uốn thành nhiều hình dạng khác nhau như bán cầu (xem mục 8.5).

9.1.4. Các loại tấm dầy khác

Ngoài những loại chất dẻo rắn đã được nêu ở trên, các loại phim mỏng cũng được dùng làm tấm phủ cho bộ thu như: *polytetrathalate ethyl*. Tên thương phẩm "terphan" hoặc "mylar", có độ bền cơ đặc biệt cao so với các loại chất dẻo khác, và chất *fluorur polyvinyl*, (hay tedlar). Nhưng loại vật liệu này biến chất theo thời gian. Để bảo vệ khỏi bị tác động của khí quyển người ta cho rằng có thể đặt dưới một lớp kính để làm tăng hiệu quả của nó.

Cuối cùng ở đây có thể giới thiệu hai loại vật liệu đặc biệt:

- *Polyester tăng cường sợi thủy tinh*. Loại này được khuyên nên dùng thay cho kính, vì giá rẻ hơn kính, nhưng ánh sáng phân bố rất đồng đều sau khi xuyên qua.

- *Polyethylene có khối lượng riêng bé*. Chất dẻo này không nên dùng làm tấm phủ cho các bộ thu phẳng, vì các tính chất quang và cơ tính rất kém, chóng già hoá, chỉ nên dùng làm các tấm phủ trong sản xuất nông nghiệp, vì giá rất rẻ, có thể phủ trên diện tích nhiều hecta và chỉ cần làm việc được trong một vài tháng. Các loại tấm mỏng chiều dày 59 micromet chiều rộng 12m và chiều dài hàng nghìn mét dùng để giữ ẩm cho đất

trong sản xuất rau, màu; chống rét cho mạ, và giữ ấm cho hoa vào những ngày trời rét... năng suất có thể tăng đến 50%

§9.2. Tấm hấp thụ

Tấm hấp thụ trong bộ thu phẳng có một vai trò rất quan trọng trong việc biến sóng điện từ của bức xạ Mặt Trời thành nhiệt và truyền nhiệt này cho chất lỏng tải nhiệt. Do đó, tấm hấp thụ phải có các tính chất sau:

- hệ số hấp thụ gần bằng đơn vị;
- hệ số phát xạ đối với tia hồng ngoại phải nhỏ nhất nếu có thể được;
- hệ số dẫn nhiệt và khuếch tán nhiệt phải tốt;
- quán tính nhiệt phải bé;
- độ bền hoá học tốt, không bị chất tải nhiệt ăn mòn.

Thế hệ thứ nhất, tấm hấp thụ được làm bằng một trong ba vật liệu sau đây có phủ một lớp sơn mỏng, đen trộn với bột oxit sắt để tăng độ nhám, tăng hệ số hấp thụ và giảm hệ số phát xạ của mặt hấp thụ.

- *Đồng* là vật liệu tốt nhất nhưng cũng đắt nhất,
- *Tôn thép* thường dùng trong các lò sưởi, cũng như trong một số bộ thu làm tấm hấp thụ phát xạ của lò sưởi trung tâm,
- *Nhôm*, nhẹ và có độ dẫn nhiệt tốt, nhưng có những nhược điểm rất dễ nhận thấy là dễ bị ăn mòn. Đặc biệt cần phải tránh ghép nối với các loại vật liệu khác, vì như thế dễ gây ra hiệu ứng pile làm cho hệ bị phá huỷ một cách nhanh chóng.

Các chất dẻo phủ lên bề mặt các vật liệu nói trên để làm giảm khả năng bị ăn mòn, đôi khi người ta trộn thêm một ít bột cacbon đen để chống bong lớp sơn. Nhưng điều đó cũng lại làm cho khả năng dẫn và khuếch tán nhiệt giảm, làm cho nhiệt độ của nó tăng gây tổn thất nhiệt lên mặt trên lớn.

Thế hệ thứ hai của tấm hấp thụ dùng bằng các loại chất dẻo sau:

- *Polypropylen* là chất trơ hoá học đã được thử nghiệm ngay với clo hoà tan trong nước ở các bể bơi. Tấm hấp thụ được làm dưới dạng ống dẫn phơi nắng, trải trên mặt đất. Người ta bơm nước từ bể bơi tuần hoàn qua ống dẫn. Loại này có độ dẫn nhiệt kém nhưng được bù lại là diện tích trao đổi nhiệt lớn: trên mỗi một mét vuông bề mặt có thể rải 25m ống dẫn.

- *Polyphenyloxid (P.P.O)* có tên thương phẩm " Noryl" chịu được nhiệt độ 150°C, mặc dầu độ dẫn nhiệt của nó kém hơn đồng đến 1.500 lần, nhưng người ta có thể tạo được một bộ thu hoàn toàn bằng chất dẻo và hiệu suất có thể so sánh được với loại làm bằng kim loại;

- Polyamid, tên thương phẩm " rilsan" được dùng dưới dạng ống quần theo tỷ lệ một trăm mét cho mỗi một bộ thu. Vì tính mềm của vật liệu mà người ta tìm thấy trong "noryl" giống như chài hấp thụ bằng cao su đen khi bị đóng băng không làm hỏng bộ thu. Phương pháp này người ta đã tiết kiệm được việc phá băng khi bộ thu đặt ở ngoài trời vào đêm đông, và có mối liên hệ rất chặt chẽ với quá trình trao đổi nhiệt. Loại vật liệu này có độ dẫn nhiệt kém so với các loại đã nói trước đây.

Hiện nay người ta chưa biết nhiều về chất dẻo không được sơn chất hấp thụ chọn lọc. Một loại màng mỏng chọn lọc có tên thương phẩm "Maxorg" có thể dán lên một mặt bất kỳ để làm tấm hấp thụ.

Để cải thiện khả năng hấp thụ bức xạ người ta có thể phủ lên mặt tấm hấp thụ một lớp mỏng oxit hoặc sulfur với các phương pháp xử lý hoá học khác nhau. Ví dụ tạo lớp oxit nikel (đầu tiên tạo một lớp nickel sạch dày 13 micromet trên đế silicon, sau đó phủ lên một lớp oxit dày 0,3 micromet). Các tính chất của vài bề mặt chọn lọc được cho trong bảng 9.2.1.

Bảng 9.2.1

Chất	Hệ số hấp thụ	Hệ số phát xạ	Chất	Hệ số hấp thụ	Hệ số phát xạ
Crôm đen	0,95 - 0,97	0,09 - 0,13	Oxit đồng	0,85	0,10
Oxit sắt	0,85	0,12	Sulfur-nikel và		
Maxorb	0,97	0,09	sulfur-kẽm	9,95	0,07

§9.3. Chất cách nhiệt

Chất cách nhiệt đóng một vai trò rất quan trọng trong các ứng dụng nhiệt năng lượng Mặt Trời. Giống như các chất hấp thụ, nó vừa hạn chế được tổn thất nhiệt, vừa giữ được nhiệt lượng trong các ống dẫn nhiệt, trong các bình tích trữ nhiệt...

Người ta có thể chia các chất cách nhiệt ra làm ba loại: khoáng chất, thực vật và chất dẻo. Vấn đề là, trong mọi trường hợp các chất phải có khối lượng riêng nhỏ, có tích được không khí trong các khe trống của các sợi, hoặc bọt bóng.

9.3.1. Các chất cách nhiệt khoáng chất

-Đá bọt là một loại đá sản phẩm của núi lửa ở Nam Mỹ, rắn và chứa rất nhiều bọt khí. Trên thị trường thường bán để làm đá kỳ, hoặc đá mài, đôi khi người ta còn dùng làm chất cách nhiệt.

- *Sợi thủy tinh* có dạng sợi rất mảnh trong thương phẩm có nhiều dạng: tấm phẳng, cuộn tròn, được bọc trong thạch cao v.v... Độ dẫn nhiệt của nó thay đổi từ $0,034 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ở 0°C đến $0,053 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ở 290°C . Đó là loại vật liệu khá hiệu quả, nhưng quá khó chịu khi thao tác bằng tay vì những kim thủy tinh tự bay ra và bám vào người. Cần phải tránh không được sơn làm mất đi tính cách nhiệt của nó;

- *Vermiculit* hoặc còn gọi là *mica co dẫn* (hệ số dẫn nhiệt $\lambda = 0,12 - 0,6 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) thường được tạo thành dạng hạt, rất nhẹ thuận tiện khi nhét đầy vào mọi không gian cách nhiệt.

Ba chất cách nhiệt khoáng chất này là loại tự nhiên, không cháy và không bị thoái hoá vì nhiệt.

9.3.2. Chất cách nhiệt thực vật hữu cơ

- *Gỗ khô*, ($\lambda = 0,13$ đến $0,4 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ tùy theo bản chất và phương truyền nhiệt). Gỗ là chất cách nhiệt mà cũng là một loại vật liệu xây dựng. Gỗ dùng làm chất cách nhiệt thường được chế tạo dưới dạng sợi dính kết ($\lambda = 0,05$ đến $0,1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$). Đặc biệt gỗ liège, hay gỗ cây điền thanh không thể làm vật liệu xây dựng mà chỉ dùng làm chất cách nhiệt với giá khá rẻ.

- *Mùn cưa*, ($\lambda = 0,11 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) nói chung không tốn kém nhưng có hai điều bất tiện là chất dễ cháy và độ dẫn nhiệt rất cao khi nóng, nên không thích hợp cho việc dùng làm chất cách nhiệt.

- Các loại tro thực vật rất dồi dào ở các nước nhiệt đới, đặc biệt là rơm, rạ là nguồn nhiên liệu chính dùng đun nấu trong các gia đình ở nông thôn, cho rất nhiều tro. Đây là chất cách nhiệt không mất tiền mua, nhẹ và an toàn.

9.3.3. Chất cách nhiệt hữu cơ tổng hợp

Nói chung, các vật liệu thuộc loại này như đã nói trước đây, ưu điểm của chúng là không gây cảm giác khó chịu cho con người, và điều bất lợi là nó giải phóng ra khí độc khi bị hoá hoán. Vì vậy không nên dùng, hoặc nếu dùng thì cần phải hạn chế bằng cách bọc ngoài bằng một lớp sợi khoáng hoặc nhôm. Các chất dẻo, có độ dẫn nhiệt kém. Người ta có thể làm thay đổi tính dẫn nhiệt của nó bằng cách tạo bọt khí khi đông rắn để thành mút, và được gọi là *mút phenol* ($\lambda = 0,044 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) và *mút clorua-polyvinyl* ($\lambda = 0,033 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

- *Mút polyurethan* là một sản phẩm công nghiệp, nhờ phản ứng của rất nhiều chất khác nhau: isocyanat, nước, chất nhũ hoá, chất ổn định, freon, v.v... phản ứng thải ra khí cacbonic trong quá trình đông rắn và tạo thành những bọt khí nhỏ, phân bố đều khắp trong toàn bộ khối thể tích. Tùy theo tỷ lệ thành phần mà người ta nhận được hai loại mút có trọng lượng riêng khác nhau: polyurethan có tỷ trọng lớn ($d = 0,6$), đủ cứng

dùng để làm thành hộp của bộ thu vừa nhẹ, vừa cách nhiệt tốt ($\lambda = 0,08 \text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$). Loại khác có tỷ trọng nhỏ ($d=0,03$), rất giòn, có độ cách nhiệt tốt hơn ($\lambda = 0,025 \text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$). Người ta có thể phun trực tiếp polyurethan lỏng vào các khoảng trống giữa các thành vách cách nhiệt sau khi đông rắn sẽ tạo ra mút định hình trong khoảng không gian này.

- *Polystyren co dẫn (xốp bọt biển)* là một chất rắn màu trắng, rất nhẹ và dòn dùng để đóng gói dưới nhiều hình dạng khác nhau: tấm, hộp, hạt... Tính dẫn nhiệt của vật liệu này kém thua một ít so với polyurêthane ($\lambda = 0,04 \text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$), nhưng lại rẻ hơn. Nhiệt độ "thăng hoa" khoảng 90°C . Loại này có thể dùng phun vào giữa hai tấm kính để tạo thành những bức tường lớn cách nhiệt cho những ngôi nhà ở xứ rét mùa đông.

- Cuối cùng cũng cần đề cập đến *nhôm*, tuy nó là loại vật liệu có độ dẫn nhiệt tốt ($\lambda = 230 \text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$), nhưng nó cũng trở thành "cách nhiệt" khi tạo ra những lá rất mỏng trên màng đế chất dẻo. Loại này có hệ số phản xạ cực tốt ($\rho = 0,95$), được dùng để quấn chung quanh các vách nóng, vừa tránh nguy hiểm cho con người khi chạm phải, vừa làm giảm tổn thất nhiệt do bức xạ. Độ dẫn nhiệt ở đây không cần quan tâm nhiều vì chiều dày của lớp nhôm chỉ vào khoảng vài micromet.

Chúng ta cũng cần nhắc lại rằng, sự cách nhiệt tốt nhất không phải là một chất nào đó mà là chẳng có chất nào cả, đó là *chân không*. Chân không là loại cách nhiệt khá đắt nhưng rất có hiệu quả. Nó thường được dùng trong các bộ thu có công suất cao, như các bộ thu hội tụ (xem mục 4.7).

§9.4. Chất tải nhiệt

Chất tải nhiệt có chức năng vận chuyển nhiệt từ tấm hấp thụ đến nơi sử dụng hoặc bình tích nhiệt. Người ta có thể dùng ba chất tải nhiệt chính sau đây.

9.4.1. Không khí

Không khí rõ ràng có ưu điểm là rất dồi dào và không mất tiền. Một điều bất lợi cơ bản là nhiệt dung riêng của nó quá bé. Cần phải dùng 3.000 lít không khí để vận chuyển năng lượng của một lít nước. Để có một công suất có ý nghĩa cần phải dùng một thể tích không khí rất lớn. Điều đó dẫn tới các đường ống và bộ trao đổi nhiệt có kích thước phải lớn. Một ưu điểm so với nước là không sợ bị rò và hạn gì thiết bị, nhưng lại phải dùng quạt công suất lớn và gây tiếng ồn to hơn một máy bơm nước tuần hoàn.

9.4.2. Nước

Nước không chỉ là chất rẻ tiền mà còn có những tính chất vật lý của một chất lỏng tải nhiệt tuyệt vời: nhiệt dung riêng của nó không có gì sánh kịp, khối lượng riêng và độ nhớt bé. Tuy nhiên, nước cũng có một số vấn đề khi hoạt động ở nhiệt độ tới hạn như: có nguy cơ đóng băng khi đặt ở ngoài trời trong đêm đông. Nhưng có thể khắc phục bằng cách dùng các chất hấp thụ mềm (caosu, noryl, rilsan,...), hoặc bằng cách đưa

vào chất hấp thụ phủ lên kim loại, hay ống chất dẻo chứa đầy không khí để khử bỏ sự dẫn nở trong lúc chuyển pha từ nước thành băng. Khi ở nhiệt độ quá cao nước có thể sôi làm tăng áp suất. Các hiện tượng này có thể khống chế được với điều kiện phòng ngừa bằng cách giảm áp suất của hệ.

Nước ở nhiệt độ trên 80°C có thể gây ra sự lắng đọng calci trong các đường ống dẫn. Cuối cùng là độ dẫn điện của nước tương đối quan trọng, dễ gây ra sự ăn mòn điện phân đối với các kim loại, đặc biệt là nhôm.

9.4.3. Các chất gilotherm

Đó là những chất lỏng hữu cơ có gốc polyphenyl hydro hoặc hydrocacbua thẳng, tồn tại với hàng chục loại khác nhau. Dưới đây là ba loại có khả năng đáp ứng trong sử dụng năng lượng Mặt Trời:

HVS 13 đối với thang nhiệt độ trong khoảng từ -25°C đến $+180^{\circ}\text{C}$

ADX 10 đối với thang nhiệt độ trong khoảng từ -50°C đến $+260^{\circ}\text{C}$

TH đối với thang nhiệt độ trong khoảng từ 0°C đến $+340^{\circ}\text{C}$.

Loại chất tải nhiệt đặc biệt đã được dùng tại trung tâm năng lượng Mặt Trời ở Odeillo thuộc Cộng Hoà Pháp, đã khắc phục được các nhược điểm của nước, loại bỏ được hiện tượng đóng băng, hiện tượng sôi, ăn mòn kim loại, và đóng cặn. Nhưng chúng lại ăn mòn các chất dẻo ở nhiệt độ bắt đầu từ 60°C . Nhưng khi sử dụng chất này người ta phải loại bỏ dấu vết của nước hoặc không khí trong các kênh dẫn để tránh sự làm hư hại của chúng.

Nhiệt dung riêng của chất này chỉ vào khoảng $0,5\text{kcal/kg/K}$. Độ nhớt thấp, các thông số còn lại đều cao hơn so với nước. Đó là một chất rất "thấm ướt" nên dễ gây ra sự rò rỉ. Hơn thế nữa nó còn là chất dễ cháy ở nhiệt độ cao.

Chương 10

ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ KINH TẾ CỦA MỘT THIẾT BỊ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG NHIỆT MẶT TRỜI

Khi ứng dụng năng lượng Mặt Trời ngay tức thì mọi người vấp phải một nghịch lý về một thứ năng lượng đồng thời vừa được dùng "miễn phí" lại "vừa đắt". Bởi vì năng lượng Mặt Trời được dùng miễn phí nếu các sản phẩm phơi trực tiếp dưới nắng Mặt Trời, hoặc các gia đình ở phía bắc bán cầu nơi vĩ độ cao, nhà được quay về hướng nam thì về mùa đông năng lượng Mặt Trời sưởi ấm mà không cần phải lắp đặt một thiết bị nào, và cũng không phải trả tiền chi phí nhiên liệu. Lý lẽ của những người cho là "đắt" là thiết bị thu năng lượng thường giá cả còn khá cao; năng lượng Mặt Trời không được cung cấp thường xuyên nên khi muốn được sử dụng thường xuyên thì phải trang bị thêm thiết bị trợ giúp; việc chọn chỗ lắp đặt thiết bị cho phù hợp với kiến trúc của một ngôi nhà đã có sẵn, thường gặp những khó khăn nhất định; thiết bị thường phải đặt ở ngoài trời nên việc duy trì bảo dưỡng có phức tạp hơn và làm cho tuổi thọ của thiết bị giảm v.v...

Vì vậy, để tránh việc đánh giá một cách cảm tính trong chương này chúng ta sẽ trình bày một nguyên tắc khảo sát đánh giá về mặt kinh tế và minh họa bằng những ví dụ để làm sáng tỏ những vấn đề đã nêu ở trên.

§10.1. Một vài định nghĩa

Giả sử gọi C là tổng chi phí để lắp đặt một thiết bị sưởi bằng năng lượng Mặt Trời, và s là tổng số tiền hy vọng tiết kiệm được ngân sách trong một năm nhờ sử dụng thiết bị này.

- Thời gian khấu hao của thiết bị có thể được đánh giá bằng số năm sử dụng

$$n = \frac{C}{s} \quad (10.1.1)$$

Như vậy, nếu thiết bị sử dụng được n năm thì tổng số tiền tiết kiệm được trong n năm sẽ bằng tổng vốn đầu tư.

- Khả năng sinh lợi của quá trình hoạt động là số nghịch đảo của số n

$$R = \frac{1}{n} \quad (10.1.2)$$

Ví dụ. Để lắp đặt một thiết bị phải đầu tư 4.000.000đ, mỗi năm tiết kiệm được 400.000đ tiền mua nhiên liệu, thì khả năng sinh lợi là 1/10, tức là 10%.

Hiển nhiên là việc sinh lợi được duy trì trong khoảng thời gian phải ngắn hơn tuổi thọ của thiết bị. Nếu gọi tuổi thọ của thiết bị là v năm thì người ta định nghĩa *chỉ số sinh lợi* là tỷ số của tổng số tiền tiết kiệm được với tổng vốn đầu tư

$$r = \frac{v.S}{C} \quad (10.1.3)$$

Nếu $r > 1$ thì *thiết bị hoạt động có sinh lợi*.

Tất cả các định nghĩa trên rất đơn giản, chỉ dùng để đánh giá nhanh, nhưng chưa tính đến hai yếu tố quan trọng đó là:

a- *Yếu tố bất lợi* khi quyết định đầu tư: bị mất đi tiền lãi do số tiền đầu tư S đã không được gửi vào ngân hàng.

b- *Yếu tố thuận lợi* lúc quyết định đầu tư : khả năng tăng giá nhiên liệu trong tương lai.

Để đánh giá một cách chính xác nhất khả năng sinh lợi do tiết kiệm nhờ sử dụng thiết bị thu năng lượng Mặt Trời, ta hãy so sánh tổng vốn thực dự định đầu tư ở thời điểm hiện tại với vốn có tính đến các yếu tố thuận lợi và bất lợi trong tương lai, nhưng cũng được coi là *giá trị hiện tại* để tính cho từng năm theo phương pháp *hiện tại hoá* như dưới đây.

§10.2. Công nhận phương pháp tính lãi suất theo hiện tại hoá

Trước hết chúng ta chỉ xét với yếu tố bất lợi (a/) như sau: Tổng giá trị mà thiết bị tiết kiệm được hàng năm phải bằng giá trị khấu hao theo từng năm, và tiền gửi tiết kiệm ở ngân hàng có giá trị s_1 phải nhỏ hơn s , nhưng lại bằng s ở năm tiếp theo. Có nghĩa là, nếu gọi τ là lãi suất tiền gửi ngân hàng trong một năm, thì ở năm tiếp theo s_1 sẽ trở thành

$$s_1 + \tau s_1 = s_1(1 + \tau) = s, \text{ từ đó } s_1 = \frac{s}{1 + \tau}, \quad (10.2.1)$$

như vậy s_1 được gọi là *giá trị hiện tại* của tổng s có được trong một năm. Cũng tương tự, giá trị hiện tại của tổng giá trị s có được trong n năm là:

$$s_n = \frac{s}{(1 + \tau)^n} \quad (10.2.2)$$

Người ta thấy rằng giá trị hiện tại của tổng lợi nhuận sẽ có được trong n năm là

$$G_n = \frac{s}{1+\tau} + \frac{s}{(1+\tau)^2} + \frac{s}{(1+\tau)^3} + \dots + \frac{s}{(1+\tau)^n} \quad (10.2.3)$$

Khi đặt $x = \frac{s}{1+\tau}$ thì phương trình (10.2.3) sẽ có dạng

$$G_n = s \cdot x (1 + x + x^2 + x^3 + \dots + x^{n-1}) \quad (10.2.4)$$

Để rút gọn ta có thể nhân và chia $(1-x)$ cho từng số hạng trong móc đơn ở vế phải của phương trình (10.2.4) ta sẽ được phương trình sau

$$G_n = s(x \cdot \frac{1-x^n}{1-x}) \quad (10.2.5)$$

Vậy thiết bị hoạt động suốt trong thời gian n năm sẽ được hoàn vốn, tức là

$$G_n = C \quad (10.2.6)$$

§10.3. Công nhận sự tăng giá nhiên liệu với khái niệm hiện tại hoá

Mọi thứ giá cả trên thị trường luôn luôn tăng, nên nhiên liệu cũng không nằm ngoài quy luật đó. Nguyên nhân chính là do hiện tượng lạm phát tác động lên nền kinh tế nói chung, thêm vào đó các nguồn nhiên liệu hoá thạch ngày càng khan hiếm, hoặc các nguồn tài nguyên khai thác ngày càng sâu trong lòng đất và càng xa bờ biển nên giá thành ngày càng cao. Đó là điều tất nhiên.

Nếu gọi c là tỷ suất sinh lợi hàng năm do giá nhiên liệu tăng (giả thiết $c = \text{const.}$) tính trên số tiền tiết kiệm được nhờ sử dụng thiết bị Mặt Trời. Thì tổng số tiết kiệm được trong một năm sẽ là: $s(1+c)$, trong hai năm: $s(1+c)^2$ v.v..., và n năm: $s(1+c)^n$.

Tính lợi ích do thiết bị tiết kiệm được bằng tiền theo giá trị hiện tại trong suốt thời gian khai thác đến năm thứ n , ta có thể nhận được giá trị sau:

$$s_n = s \left(\frac{1+c}{1+\tau} \right)^n \quad (10.3.1)$$

Thay (10.3.1) vào (10.2.1) với việc đặt $x = \frac{1+c}{1+\tau}$ và dùng các công thức (10.2.5), (10.2.6) để tính tuổi thọ (hay thời gian hoàn vốn) của thiết bị.

Người ta cũng nhận thấy, nói chung về khái niệm hiện tại hoá theo định nghĩa trên (10.3.1) mà ta gọi là x , một số người thì quan tâm hơn đến yếu tố thuận lợi (khi đầu tư), tức là quan tâm đến tử số, một số khác lại chú ý đến yếu tố bất lợi (khi đầu tư), quan

tâm đến mẫu số, do hiện tượng lạm phát. (Dĩ nhiên, trong trường hợp thực tế khi $c = \tau$ ta có $x = 1$. Cả hai thừa số sẽ bù trừ cho nhau).

Chỉ số sinh lợi của thiết bị trong trường hợp này cũng còn được gọi là *giá trị hiện tại bằng đồng vốn đầu tư*. Bây giờ ta có thể viết

$$r = \frac{s}{C} \left(x \frac{1 - x^v}{1 - x} \right) \tag{10.3.2}$$

Trong đó v là thời gian dự đoán thiết bị còn có thể tiếp tục khai thác được.

Trong các ví dụ dưới đây người ta dùng công thức (10.3.2) thay cho công thức (10.1.4).

§10.4. Các ví dụ cụ thể

Vì ở nước ta chưa có gia đình nào lắp đặt một hệ thống sử dụng năng lượng Mặt Trời quy mô đủ lớn và có thống kê một cách đầy đủ năng lượng tiêu thụ, nên các ví dụ dưới đây chúng tôi lấy theo số liệu thực của nước ngoài để minh hoạ cho tính toán lý thuyết ở trên.

Ví dụ 1. Một ngôi nhà mới được lắp đặt một hệ điều hòa và hệ làm lạnh bằng năng lượng Mặt Trời có bổ sung năng lượng điện. Bảng 10.4.1 dưới đây thống kê năng lượng tiêu thụ đã sử dụng trong một năm cho thiết bị điều hoà không khí, và số tiền đã trả cho số điện tiêu thụ này.

Bảng 10.4.1

	Năng lượng tiêu thụ (kWh)	Giá đơn vị kể cả thuế VTG (đồng Franc pháp)	Thành tiền (đồng Franc pháp)
Ước tính lượng điện tiêu thụ trong năm	Ngày 24.000	0,225	5.400
	Đêm 12.000	0,135	1.620
	Tiền thuê công-tơ		1.350
	Tổng cộng: 36.000		8.370
Điện tiêu thụ thực khi có các thiết bị Mặt Trời	Ngày 5.700	0,225	1.508
	Đêm 3.800	0,135	512
	Tiền thuê côngtơ		1.350
	Tổng cộng: 10.500		3.370
Tiết kiệm trong năm	25.500kWh	$s = 8.370 - 3.370 = 5.000\text{FF}$	

Giá đơn vị điện (kWh) dùng trong ví dụ là giá thực trên thị trường tại thời điểm tính toán, có tính đến thuế giá trị gia tăng, khuyến khích thay đổi theo giờ dùng điện cao điểm hay thấp điểm.

1- *Tính tiết kiệm theo cách tính cơ sở:*

- Thời gian hoàn vốn: $n = C/s = 20.000/5.000 = 4$ năm

- Chỉ số sinh lợi: $R = s/C = 5.000/20.000 = 0,25 = 25\%$

2- *Phương pháp tính theo hiện tại hoá:*

Giả thiết số tiền đầu tư trên được gửi vào ngân hàng với lãi suất 10% ($\tau = 0,10$) chưa có thuế VAT, và cũng giả thiết là giá cả tăng trong năm là 3% ($c = 0,03$).

Tuổi thọ n có thể tính theo các phương trình (9.2.4) và (9.2.5). Có nghĩa là:

$$s(x \frac{1-x}{1-x}) = C \text{ với } x = \frac{1+c}{1+\tau}$$

Thay số vào các công thức trên, ta được

$$5.000(0,93636 \frac{1-0,93636^n}{1-0,93636}) = 20.000$$

Từ đó rút ra: $0,93636^n = 0,72814$

$$n = \frac{\lg 0,72814}{\lg 0,93636} = 4,8 \text{ năm}$$

và chỉ số sinh lợi: $R = 1/4,8 \sim 20\%$

Từ đó cho thấy kết quả của hai cách tính khác nhau là khác nhau, từ 25% với cách tính đơn giản sụt xuống còn 20% theo cách tính hiện tại hoá. Trong thực tế tuổi thọ của các thiết bị năng lượng Mặt Trời thường trên 10 năm. Vì vậy nên thiết bị Mặt Trời có khả năng sinh lợi rất cao.

Ví dụ 2. Bây giờ ta xét một ngôi nhà khi sử dụng Mặt Trời đun nước nóng dùng để sưởi ấm gia đình với ba phương án khác nhau:

(A) 33m² bộ thu phẳng với bể tích trữ nhiệt 4m³,

(B) 33m² bộ thu phẳng với bể tích trữ nhiệt 40m³,

(C) 25m² bộ thu phẳng với bể tích trữ nhiệt 4m³.

Thiết bị sưởi bằng nhiên liệu được thực hiện theo ba cách: đun nóng ở phía đáy, với hiệu suất lò đun là 80%, giá đơn vị nhiên liệu tại thời điểm tính là 0,221FF.

Về tiết kiệm cho thiết bị lò sưởi như đã được tính toán ở trên, ở đây chúng ta thêm vào 2.000 đơn vị nhiệt phụ thêm để đun nước nóng cho các bộ sưởi vào mùa xuân

cho tất cả ba phương án. Ở đây cho thấy khi tính toán theo phương pháp quy đổi về thời điểm hiện tại các yếu tố thuận lợi và bất lợi cho ta một kết quả khá lý thú, là ở cả ba phương án đều cho thời gian hoàn vốn ngắn hơn, do đó hiệu quả sinh lợi lớn hơn so với việc chỉ dùng phương pháp tính đơn giản. Các số liệu và kết quả tính toán nhận được thể hiện trong bảng 10.4.2.

Bảng 10.4.2

	A		B		C	
	Đơn vị nhiệt	Franc Pháp	Đơn vị nhiệt	Franc Pháp	Đơn vị nhiệt	Franc Pháp
<u>Tiết kiệm hàng năm</u>						
- sưởi	8.570		9.370		7.475	
- đun nước nóng	<u>2.000</u>		<u>2.000</u>		<u>2.000</u>	
tổng cộng	10.570	s=2.230	11.357	s=2.390	9.475	s=1.999
<u>Vốn đầu tư:</u>						
- bộ thu		33.000		33.000		25.000
- thùng tích nhiệt		5.000		22.000		5.000
- bộ điều chỉnh, các vật liệu khác		5.300		5.300		4.200
Tổng cộng: S =		43.300		60.300		34.200
<u>Tính tiết kiệm theo cách tính cơ sở</u>						
-thời gian thu hồi vốn: n=	19 năm		25 năm		17 năm	
- khả năng sinh lợi: R=	5,2%		4,0%		5,8%	
<u>Tính theo cách tính hiện tại hoá</u>						
- với $\tau = 0.10$ (như trên)						
và c = 0.15(giá nhiên liệu tăng 15%/năm): n =	14 năm		17 năm		12,5 năm	
R=	7,2%		5,8%		8,0%	
- với c = 0.30,(giá nhiên liệu tăng 30%/năm): n=	8,3 năm		9,5 năm		8,0 năm	
R=	12,1%		10,5%		12,5%	

§10.5. Một vài phương pháp khác tính hiệu quả kinh tế của thiết bị ứng dụng năng lượng Mặt Trời

10.5.1. Phương pháp tổng quát

Có thể coi hiệu quả kinh tế ξ của một thiết bị sử dụng năng lượng Mặt Trời (ví dụ thiết bị đun nước nóng) là một hàm phụ thuộc vào nhiều yếu tố được mô tả bằng phương trình dưới đây

$$\xi = f[H, (\tau\alpha), A, \eta, C, \zeta, \varphi, b, c, \tau] \quad (10.5.1)$$

trong đó: H - cường độ bức xạ trung bình trong năm ở nơi đặt thiết bị;

$(\tau\alpha)$ - hệ số tích truyền qua và hấp thụ của vật liệu chế tạo thiết bị;

A - diện tích (kích thước) của bộ thu;

η - hiệu suất của bộ thu;

C - vốn đầu tư ban đầu và tiền bảo dưỡng thiết bị;

ζ - hệ số sử dụng nước nóng của thiết bị;

φ - vĩ tuyến của địa phương nơi đặt thiết bị sử dụng nước nóng;

b - giá nhiên liệu cạnh tranh của địa phương;

c - tỉ lệ lạm phát của quốc gia;

τ - lãi suất tiết kiệm tiền gửi ngân hàng.

Giả sử giá trị sinh lợi của thiết bị trong thời gian sử dụng thiết bị N năm là S, và giá trị sinh lợi của thiết bị hàng năm là s thì ta có

$$S = sN \quad (10.5.2)$$

Nếu gọi Q_n là lượng bức xạ hiệu dụng mà thiết bị thực sự nhận được trên một đơn vị diện tích trong năm và quy đổi thành giá nhiên liệu cạnh tranh, với thời gian sử dụng thiết bị N năm, ta lại có

$$S = A \eta \zeta Q_n N \quad (10.5.3)$$

Điều kiện để thiết bị hoạt động có hiệu quả kinh tế là $S > C$ hay

$$A \eta \zeta Q_n N > C \quad (10.5.4)$$

$$\text{Từ đó suy ra} \quad \eta > \frac{C}{A \zeta Q_n N} \cdot 100\% \quad (10.5.5)$$

Để thoả mãn được bất phương trình (10.5.5) ta thấy nếu giá trị hiệu suất η của thiết bị là không đổi thì vế phải của phương trình phải đảm bảo sao cho: C/A - giá trị đầu

tư cho một đơn vị diện tích bộ thu phải đủ nhỏ; năng lượng bức xạ hiệu dụng do bộ thu nhận được phải đủ lớn; giá nhiên liệu cạnh tranh cao và thời gian sử dụng thiết bị đủ lớn.

Hệ thức (10.5.5) là một hệ thức cơ bản để phân tích đánh giá hiệu quả kinh tế của thiết bị, tuy chưa đề cập đến lợi ích của bảo vệ môi trường và chưa bao gồm hiệu: tượng lạm phát - c (yếu tố thuận lợi), cũng như lãi suất tiền gửi tiết kiệm - τ (yếu tố bất lợi). Nếu đánh giá hiệu quả kinh tế có tính đến cả các yếu tố thuận lợi và bất lợi thì người ta đã đề nghị viết lại phương trình (10.5.5) như sau

$$\eta > \frac{C[1 - (\frac{1+c}{1+\tau})]}{Q\zeta Ab(\frac{1+c}{1+\tau})[1 - (\frac{1+c}{1+\tau})^r]} - 100\% \quad (10.5.6)$$

Khi đặt
$$f = \frac{1 - (\frac{1+c}{1+\tau})}{(\frac{1+c}{1+\tau})[1 - (\frac{1+c}{1+\tau})^r]} \quad (10.5.7)$$

thì phương trình (10.5.6) trở thành

$$\eta > \frac{Cf}{Q\zeta Ab} \cdot 100\% \quad (10.5.8)$$

Ta thấy khi cho $\tau \rightarrow c$ thì từ (10.5.8), ta nhận được $f = 1/N$, trở về hệ thức cơ bản (10.5.5).

10.5.2. Phương pháp tính toán dựa trên cân bằng giữa tổng chi phí và tổng giá trị sinh lợi

Nếu gọi C là vốn đầu tư cho một đơn vị diện tích bộ thu; p - chi phí vận hành bảo dưỡng hàng năm, tính theo tỉ lệ phần trăm của vốn đầu tư; n - số năm đã hoạt động của thiết bị; τ - lãi suất ngân hàng tính theo năm, và c - chỉ số lạm phát hàng năm thì người ta đã xây dựng được các phương trình dưới đây để tính tổng chi phí và tổng giá trị sinh lợi theo năm sử dụng

- Tổng chi phí đầu tư và sử dụng thiết bị trong n năm

$$Z = C[1 + p \sum_{i=1}^n \left(\frac{1+c}{1+\tau}\right)^i] \quad (10.5.9)$$

- Tổng giá trị sinh lợi của thiết bị trong thời gian tương ứng

$$S = Q \eta \zeta b \sum_{i=1}^n \left(\frac{1+c}{1+\tau} \right)^i \quad (10.5.10)$$

trong đó: Q- bức xạ tổng xạ trung bình trong năm, kWh/m²;

η - hiệu suất của thiết bị;

ζ - hệ số sử dụng nước nóng;

b - giá đơn vị năng lượng.

Để tính cân bằng giữa tổng chi phí Z và tổng giá trị sinh lợi S, ta tính tổng các thừa số trong các phương trình (10.5.9) và (10.5.10) với các giá trị của t chạy từ 1 đến n cho đến khi $S \geq Z$, khi đó n chính là số năm hoàn vốn của thiết bị. Nếu $n > N$ (tuổi thọ của thiết bị) thì thiết bị sẽ có hiệu quả kinh tế. Ngược lại, nếu $n < N$ thì không có hiệu quả kinh tế. Từ các phương trình (10.5.9) và (10.5.10) ta có thể tính được thời gian thu hồi vốn và tiền lãi thu được khi sử dụng hết tuổi thọ của thiết bị

$$U = S - Z \quad (10.5.11)$$

Ví dụ 3 Tính thời gian thu hồi vốn đầu tư cho một thiết bị đun nước nóng bằng năng lượng Mặt Trời cho một gia đình, không có bộ đun phụ, được đặt ở Hà Nội, với các số liệu cho như sau:

- diện tích bộ thu	3m ²
- hiệu suất thiết bị	0,52
- hiệu suất sử dụng nước nóng ở Hà nội	0,75
- vốn đầu tư ban đầu	2,150 triệu Đ/m ²
- chi phí bảo dưỡng thiết bị hàng năm (dự tính)	5% (theo vốn đầu tư)
- giá điện tính theo giá tiêu thụ trên 150kWh/tháng	1.210 Đ/kWh
- lãi suất tiết kiệm ngân hàng	7%/năm
- trong thời gian sử dụng có lạm phát	4%/năm.
- tuổi thọ của thiết bị dự kiến	10 năm

Giải. Áp dụng các công thức (10.5.9), (10.5.10) và (10.5.11) và các dữ liệu đầu bài đã cho (lấy đơn vị tính nghìn đồng) ta có:

- vốn đầu tư ban đầu:	$C = 2.150 \text{ N/m}^2 \times 3 \text{ m}^2 =$	6.450N
- cường độ bức xạ ở Hà Nội, tra bảng 1.6.1 ta có Q =		1.427kWh/n
- đặt	$X = \left(\frac{1+c}{1+\tau} \right)^t = \left(\frac{1+0,03}{1+0,07} \right)^t =$	(0,9626) ^t

- đặt
$$Y = 1 + p \sum_{t=1}^n x^t = 1 + 0,05 \sum_{t=1}^n (0,9626)^t$$

- đặt
$$M = Q \eta \zeta b = 1.427 \times 0,52 \times 0,75 \times 1,210 = 2.020,2N$$

Lập bảng tính từ năm thứ nhất đến năm thứ 10

Thông số	t = 1	t = 2	t = 3	t = 4	t = 5	t = 10
x^t	0,9626	0,96266	0,8919	0,8586	0,8265	0,6831
$\sum_{t=1}^n x^t$	0,9626	1,8892	2,7811	3,6397	4,4662	8,1575
$Y = (1 + 0,05 \sum_{t=1}^n x^t)$	1,012	1,094	1,139	1,182	1,223	1,4078
$Z = CY = 6450Y(N)$	6.527,4	7.056,3	7.346,5	7.623,9	7.888,3	9.080,3
$S = M \sum_{t=1}^n x^t (N)$	1.871,9	3.816,6	5.618,4	7.352,9	9.022,6	16.479,8
$U = S - Z(N)$	-4.655,5	-3.240,	-1.628,	+374,0	+1.132,	+7.399,5
$R = 1/n = 1/4 = 0,25$						

Kết quả tính toán cho thấy nhờ tiết kiệm năng lượng do việc không dùng điện nên đến năm thứ tư thiết bị đã hoàn đủ vốn đầu tư và bắt đầu sinh lãi được 340 nghìn đồng, chỉ số sinh lợi $R=0,25$. Khi thiết bị làm việc đến hết tuổi thọ sẽ cho lãi là 7 triệu 399,5 nghìn đồng nhờ sử dụng thiết bị năng lượng Mặt Trời. Qua ví dụ trên cho thấy khả năng sinh lợi của thiết bị sử dụng năng lượng Mặt Trời là hiển nhiên, có luận cứ khoa học chứ không phải đánh giá bằng cảm tính.

§10.6. Một vài yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến khả năng sinh lợi của thiết bị

10.6.1. Ảnh hưởng của thời tiết

Thực tế cho thấy rằng một thiết bị ứng dụng năng lượng Mặt Trời cho trước thì đặt ở nơi này sẽ có khả năng sinh lợi tốt hơn là đặt nó ở một nơi khác. Thật vậy, từ phương trình (10.5.3) ta thấy giá trị sinh lợi S tỷ lệ với cường độ bức xạ tổng xạ Q , do đó thiết bị được đặt ở những nơi có giá trị cường độ bức xạ và tổng số giờ nắng trong năm lớn thì giá trị sinh lợi sẽ lớn, thời gian thu hồi vốn sẽ được rút ngắn, và ngược lại. Hiển

nhiên là khi thời tiết tốt thì hiệu quả của các thiết bị sử dụng năng lượng Mặt Trời là tốt nhất. Rõ ràng một thiết bị có khả năng sinh lợi lớn nhất khi mùa đông đủ lạnh và có thời tiết tốt. Ví dụ, một thiết bị đun nước nóng đặt ở Đà Lạt có khả năng sinh lợi cao hơn khi đặt nó ở Đà Nẵng, vì cường độ bức xạ cũng như hệ số sử dụng nước nóng Đà Lạt cao hơn ở Đà Nẵng (xem bảng 1.6.1).

10.6.2. Ảnh hưởng của vị trí địa lý

Như ta đã biết ở vĩ tuyến càng cao thì nhiệt độ không khí càng thấp, nhu cầu sưởi ấm và dùng nước nóng càng nhiều, nên hệ số sử dụng sản phẩm từ các thiết bị Mặt Trời như: thiết bị đun nước nóng và sưởi ấm cho gia đình càng nhiều. Ví dụ, về mùa đông khả năng sinh lợi của thiết bị ở Hà Nội cao hơn ở Đà Nẵng, vì hệ số sử dụng nước nóng ở Hà Nội có thể cao hơn ở Đà Nẵng, mặc dầu cường độ bức xạ ở Hà Nội thấp hơn ở Đà Nẵng.

10.6.3. Ảnh hưởng bởi yếu tố sử dụng

Đây là nhân tố quan trọng ảnh hưởng rất nhiều đến khả năng sinh lợi của thiết bị ứng dụng năng lượng Mặt Trời. Khi thiết bị được đặt ở những nơi sử dụng nước nóng thường xuyên như: các cơ sở sản xuất, nhà trẻ, khách sạn, nhà ăn v.v... thì lượng nước nóng được dùng thường xuyên, thiết bị vừa cho hiệu suất cao vừa cho hệ số sử dụng nước cao (ζ có thể đạt đến bằng đơn vị) do đó khả năng sinh lợi là lớn nhất, nghĩa là hiệu quả kinh tế là cao nhất.

PHẦN PHỤ LỤC

Phụ lục I. Cường độ bức xạ tổng xạ trung bình ngày và trực xạ trung bình ngày của các tháng trong năm (kWh/m²/ngày) và cả năm (kWh/m²/năm)

Địa phương	Tháng	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	kWh m ² .n
1. Cao Bằng	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	2.391	2.487	2.964	3.591	4.752	4.983	5.331	5.382	5.016	3.930	3.276	2.745	1.425
2. Sa Pa	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	0.708	0.726	0.810	1.059	1.824	1.863	2.295	2.550	2.397	1.662	1.350	1.068	557
3. Lai Châu	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	3.708	4.053	4.293	4.776	4.488	4.230	4.371	4.251	3.675	3.111	3.141	3.408	1.445
4. Móng Cái	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	2.463	2.781	2.457	2.412	1.860	1.119	1.653	1.545	1.365	1.122	1.638	2.190	689
5. Phú Hộ	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	3.072	3.753	4.347	4.707	5.079	4.686	4.935	5.031	5.013	4.326	3.210	2.934	1.554
6. Sơn La	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	1.434	1.935	2.145	2.088	2.262	1.536	2.004	2.325	2.448	2.169	1.422	1.272	703
7. Láng (Hà Nội)	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	2.592	2.295	2.661	3.300	4.788	4.749	4.992	5.154	5.205	4.566	3.744	3.006	1.431
8. Phù Liên (HP)	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	1.041	0.504	0.690	0.993	2.094	1.924	2.520	2.886	3.168	2.667	1.941	1.389	662
9. Thanh Hoá	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	2.343	2.313	2.544	3.432	5.013	5.172	5.217	5.064	4.653	4.179	3.390	2.901	1.460
10. Vinh	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	0.711	0.519	0.435	0.867	2.004	2.097	2.370	2.247	2.160	1.926	1.443	1.095	544
11. Đà Nẵng	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	3.267	3.696	4.089	4.755	5.046	4.956	4.950	5.076	5.055	4.599	3.672	3.456	1.600
12. Nha Trang	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	1.659	1.824	1.833	2.112	2.172	1.803	1.920	2.229	2.514	2.433	1.824	1.878	737
13. Playcu	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	2.553	2.457	2.580	3.325	5.355	5.415	5.697	5.151	4.932	4.365	3.600	3.099	1.482
14. Tân Sơn Nhất	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	0.768	0.480	0.444	0.858	2.331	1.656	2.742	2.298	2.385	2.085	1.559	1.254	575
15. Đà Lạt	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	2.652	2.225	2.331	3.201	4.818	5.010	5.364	4.839	4.593	4.182	3.594	2.985	1.394
16. Cần Thơ	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	0.882	0.447	0.393	0.720	2.010	2.079	2.673	2.217	2.241	2.058	1.704	1.176	566
17. Cà Mau	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	2.802	2.370	2.883	3.834	5.853	5.748	5.928	5.364	5.280	4.563	3.555	3.921	1.597
	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	0.963	0.648	0.588	1.185	2.976	2.598	3.177	2.520	2.601	2.274	1.548	1.464	686
	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	2.559	2.313	2.646	4.110	5.673	5.610	6.186	5.202	4.557	3.816	2.967	2.616	1.468
	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	0.831	0.534	0.615	1.479	3.135	2.784	3.273	2.370	2.097	1.509	1.011	0.876	624
	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	3.564	4.221	5.100	5.760	6.312	5.964	6.480	5.886	5.148	4.140	3.027	2.454	1.766
	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	2.028	2.289	2.826	3.288	3.996	3.879	4.389	3.675	3.039	2.313	1.344	1.173	1.041
	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	5.028	5.983	6.961	6.458	5.900	6.370	5.960	6.210	6.520	5.620	4.350	4.360	2.120
	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	4.210	5.150	5.540	5.630	5.500	4.990	4.820	4.570	4.490	4.500	3.850	3.780	1.740
	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	4.180	4.860	5.270	5.120	4.450	4.330	4.410	4.490	4.170	4.110	3.940	3.960	1.621
	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	5.934	6.702	6.885	5.820	4.872	4.080	5.361	4.683	4.308	4.257	4.566	5.184	1.906
	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	3.534	4.362	4.351	2.926	1.860	0.926	1.641	1.446	1.331	1.274	1.997	3.412	885
	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	5.001	5.697	5.964	5.799	4.800	4.278	4.728	4.359	4.695	4.488	4.440	4.737	1.794
	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	2.836	3.375	3.408	3.110	2.216	1.562	2.066	1.792	2.134	2.008	2.148	2.490	888
	Bức xạ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tổng xạ	4.783	5.294	5.633	5.553	4.469	4.353	4.527	4.469	4.469	4.247	4.317	4.556	1.724

Phụ lục II. Hệ số phát xạ trên một số bề mặt của các vật khác nhau

2.1. Hệ số phát xạ toàn phần phương pháp tuyến

Vật liệu	Chiều dài bước sóng (μm), hệ số phát xạ				
	9,3 μm 38°C	5,4 μm 260°C	3,6 μm 538°C	1,8 μm 1371°C	0,6 μm T. Mặt Trời
Thép không gỉ - mài nhẵn - biến dạng	0,15 0,85	0,18 0,85	0,22		
Nhôm: - mài nhẵn - oxit hoá - tấm lợp - anod hóa	0,04 0,11 0,22 0,94	0,05 0,12 0,42	0,08 0,18 0,60	0,19 0,34	$\approx 0,3$ 0,11
Bạc: - mài nhẵn	0,01	0,02	0,03		
Crôm: - mài nhẵn	0,08	0,17	0,26	0,40	0,49
Đồng: - mài nhẵn - oxit	0,04 0,87	0,05 0,83	0,18 0,77	0,17	
Sắt: - mài nhẵn - mạ kẽm	0,06 0,28	0,08	0,13	0,25 0,42	0,45 0,66
Đồng thau: - mài nhẵn - oxit	0,10 0,61	0,10			
Vật liệu xây dựng, cách nhiệt: - giấy amiant - nhựa đường - gạch đỏ - gạch silic - gạch chịu lửa	0,93 0,93 0,90 0,90 0,90	0,93	0,7 0,75	0,75 0,84 0,40	
Sơn các loại: - màu nhũ - màu kem - đen mỡ hóng - Sơn đen dầu	0,65 0,95 0,96 0,95	0,65 0,88 0,97	0,70	0,42	0,35
Kính:	0,97				
Gỗ	0,96				
Thủy tinh	0,90				

2.2. Hệ số phát xạ bán cầu

Vật liệu	$t(^{\circ}\text{C})$	ε	Vật liệu	$t(^{\circ}\text{C})$	ε
<u>Vật liệu kim loại</u>			<u>Vật liệu phi kim loại</u>		
Sắt mềm	38	0.10	Amiant	38	0.96
	538	0.35	Bê tông	0-93	0.94
Thép inox	38	0.16	Gỗ	20	0.8 - 0.9
	538	0.25	Gạch đỏ	20	0.75
	815	0.49	Gạch chịu lửa	1000	0.75
Nhôm - mài nhẵn	232	0.04	Cao su	20	0.92
- thương phẩm	575	0.057	Kính, nhẵn	0	0.92
- bị oxit nặng	100	0.09	Sơn dầu các màu	20	0.89 - 0.97
	505	0.32	Sơn trên nhôm	20	0.40 - 0.70
Đồng: - mài nhẵn	38	0.04	Thạch cao	20	0.92
	535	0.18	Sứ thủy tinh hoá	22	0.92
- oxit	315	0.47	Mỏ hồng	20	0.95
	675	0.70	Giấy	95	0.89
Đồng thau: - mài nhẵn	300	0.03			

Phụ lục III. Tính chất vật lý của không khí khô ở áp suất $p = 760\text{mmHg}$

Nhiệt độ ($^{\circ}\text{C}$)	ρ (kg/m^3)	C_p ($\text{kJ}/\text{kg.K}$)	$\lambda \cdot 10^2$ ($\text{W}/\text{m.K}$)	$a \cdot 10^6$ (m^2/s)	$\mu \cdot 10^6$ (Ns/m^2)	$\nu \cdot 10^6$ (m^2/s)	Pr
0	1.293	1.005	2.44	18.8	17.2	13.28	0.712
10	1.247	1.005	2.51	20.0	17.6	14.15	0.705
20	1.205	1.005	2.59	21.4	18.1	15.06	0.703
30	1.165	1.005	2.70	22.9	18.6	16.00	0.702
40	1.128	1.005	2.76	24.3	19.1	16.96	0.600
50	1.093	1.005	2.83	25.7	19.6	17.95	0.698
60	1.060	1.005	1.90	27.6	20.1	18.97	0.696
70	1.029	1.009	2.96	28.6	20.6	20.02	0.694
80	1.000	1.009	3.05	30.2	21.1	21.09	0.692
90	0.972	1.009	3.13	31.9	21.5	22.10	0.690
100	0.946	1.009	3.21	33.6	21.9	23.13	0.688

Phụ lục IV. Một số tính chất vật lý của vật rắn ở 20°C

IV.1 Vật liệu kim loại

Vật liệu tự nhiên	Khối lượng riêng (kg/m^3)	Nhiệt dung đẳng áp ($\text{J}/\text{kg.K}$)	Hệ số dẫn nhiệt λ ($\text{W}/\text{m.K}$)	Độ dẫn nhiệt độ a (m^2/s)
<u>Vật liệu kim loại:</u>				
Bạc	10.500	$0.23 \cdot 10^3$	418	$1.71 \cdot 10^{-4}$
Đồng	8.940	0.38	389	1.14
Nhôm	2.700	0.86	200	0.86
Đồng thau	8.500	0.37	100	0.33
Thép cacbon (0.1%C)	7.850	0.49	46	0.12
Thép không gỉ	7.900	0.51	16	0.04

IV-2 Vật liệu phi kim loại

Vật liệu tự nhiên	Khối lượng riêng (kg/m ³)	Nhiệt dung đẳng áp (J/kg.K)	Hệ số dẫn nhiệt λ (W/m.K)	Độ dẫn nhiệt độ a (m ² /s)
<u>Vật liệu phi kim loại:</u>				
Bê-tông	2.300	0,96	0,92	$0,42 \cdot 10^{-6}$
Đá granit	2.600	0,87	2,50	1,10
Kính	2.530	0,84	1,20	0,58
Gỗ	410	1,25	0,23	0,45
PVC			0,16	
Polystyrène	44	2,1	0,025	
Amiane	577	0,816	0,160	
Bông thủy tinh	200	0,67	0,010	

Phụ lục V. Tính chất vật lý của một vài chất lỏng

t (°C)	ρ (kg/m ³)	$\mu \cdot 10^3$ kg/(m.s)	$\nu \cdot 10^5$ m ² /s	C_p J/(kg.k)	λ W/(m.K)	$a \cdot 10^8$ m ² /s	Pr
<u>Nước</u>							
0	1002	1,78	0,179	4,218	0,552	13,1	13,6
10	1001	1,30	0,130	4,192	0,586	13,7	9,30
20	1001	1,00	0,101	4,182	0,597	14,3	7,02
40	994,6	0,651	0,0658	4,178	0,628	15,1	4,34
60	985,4	0,469	0,0477	4,184	0,651	15,5	3,02
80	974,1	0,354	0,0364	4,196	0,668	16,4	2,22
100	960,6	0,281	0,0294	8,216	0,680	16,8	1,74
120	945,3	0,234	0,0247	4,250	0,685	17,1	1,446
140	928,3	0,198	0,0214	4,283	0,684	17,2	1,241
160	909,7	0,172	0,0189	4,342	0,680	17,3	1,099
180	889,0	0,154	0,0173	4,417	0,675	17,2	1,004
200	866,7	0,138	0,0169	4,505	0,665	17,1	0,937
220	842,4	0,125	0,0149	4,610	0,653	16,8	0,891
240	815,7	0,17	0,0143	4,756	0,635	16,4	0,871
260	785,9	0,108	0,0137	4,949	0,611	15,6	0,874
280	752,5	0,102	0,0135	5,208	0,580	14,8	0,910
300	714,3	0,096	0,0135	5,728	0,540	13,2	1,019
<u>Dầu mỏ</u>							
0	899	$3,850 \cdot 10^{-1}$	$4,28 \cdot 10^{-3}$	1,796	0,147	$9,11 \cdot 10^{-8}$	47,100
20	888	0,80	0,90	1,880	0,145	8,72	10,400
40	876	0,21	0,24	1,964	0,144	8,33	2,870
60	864	0,072	0,0839	2,047	0,140	8,00	1,050
80	852	0,032	0,0375	2,131	0,138	7,69	490
100	840	0,0170	0,0202	2,219	0,137	7,38	276
120	829	0,0192	0,0123	2,307	0,135	7,10	175
140	817	0,0065	0,0080	2,395	0,133	6,86	116
160	806	0,0045	0,0056	2,483	0,132	6,63	84

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. John A. Duffie, William A, Beckman. Solar Energy Thermal Processes ISBN-0-471-22371-9, John Wiley and Sons, New York, 1974.
2. H. Stephen Stoker; Spencer L. Seager; Robert L. Capener. From Source to Use Energy, Library of Congress, Catalog Number 74-78255, ISBN 0-673-07947, USA.
3. H.P. Garg. Treatise On Solar Energy, Vol.1, Fundamentals of Solar Energy, John Wiley and Sons, New York, 1982.
4. Suhas P. Sukhatme. Solar Energy. Principles of Thermal Collection and Storage, Second Edition. Tata Mc.Graw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1997.
6. Roger Bernard, Gibert Menguy, Marcel Schwartz. Le rayonnement solaire conversion thermique et applications, 2^e édition augmentée. Technique & Documentation, ISBN 2-85206-076-0, Paris, 1980.
7. J.F. Sacadura. Initiation aux transferts thermiques. Technique et Documentation, 2^e tirage revu, ISBN 2-85206-033-7, Paris, 1980.
8. Eckert E.R.G., Goldstein R.J. Measurements in heat transfer 2e éd., Hemisphere Publ. Corp., N.Y., 1976.
9. Robert Cellaire. Les chauffe-eaux solaires, capteur-stockeurs, AFME, Janvier, 1987.
10. L. Lansing, V. Clarke. A High Performance Porous Flat-Plate Solar Collector, Solar Energy, 4, 1979.
11. S.B. Thombre, S.P. Sukhatme. Turbulent Flow Heat Transfer and Friction Factor Characteristics of Shrouded Fin arrays with Uninterrupted, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 10, 388, 1995.
12. S. Sateunanathan, S. Deonarine. A two pass Solar Air Heater, Solar Energy, 15, 41, 1973.
13. N.E. Wijesundera, L.L. Ah. and L.E. Tijoe. Thermal Performance Study of Two-pass Solar Air Heaters, Solar Energy, 28, 363, 1982.
14. Trần Huy Khang. Sổ tra cứu bức xạ Mặt Trời trên toàn lãnh thổ Việt Nam, Viện Khí Tượng Thủy Văn, Hà Nội, 1989
15. Nguyễn Công Vân, Võ Sĩ Huỳnh, Đặng Đình Thống và cộng sự. Năng lượng mới đại cương, Đại học Bách Khoa Hà Nội, Hà Nội 2001.
16. Đặng Đình Thống. Năng lượng Mặt Trời-Nguyên lý và ứng dụng, Hà Nội, 9-2002.
17. Nguyễn Công Vân. Modelisation et simulation d'un système polyvalent de séchage solaire indirect pour fruits, légumes et beignets, Perpignan, 1985.
18. Nguyễn Công Vân. Nghiên cứu cải tiến kết cấu bộ thu BXMT dạng phẳng kiểu tấm-ống để đun nước nóng, Scientific Bulletin of Universities. Bộ ĐH-THCN-DN, Hà Nội, 1989.

19. **Nguyễn Công Vân.** Usage of Solar Equipment in Vietnam. VIE/87/023, National Workshop on Renewable Energy in Vietnam, Ho Chi Minh City, 26-28 June, 1990.
20. **Nguyễn Công Vân.** Nghiên cứu chế tạo thiết bị sấy bằng năng lượng Mặt Trời. Đề tài cấp Nhà nước, 52C-04-04a, Hà Nội, 9,1990.
21. **Nguyễn Công Vân.** Nghiên cứu cải tiến thiết bị đun nước nóng bằng năng lượng Mặt Trời. Đề tài cấp Nhà nước, 52C-04-02b, Hà Nội, 9,1990.
22. **Nguyễn Văn Thân, Nguyễn Công Vân, và đồng sự** Kỹ thuật sử dụng năng lượng mới, Nhà XB Giáo dục, 1974.
23. **Maria Nystrom,** Kitchen and Stove, The selection of technology and design, Sweden, 1985

MỤC LỤC

	Trang
Lời mở đầu	3
Giải thích các ký hiệu	5
Chương một: Tổng quát về bức xạ Mặt Trời	
1.1 Vài nét về Mặt Trời	9
1.2 Hằng số Mặt Trời	10
1.3 Sự phân bố quang phổ bức xạ Mặt Trời bên ngoài lớp khí quyển	11
1.4 Những yếu tố ảnh hưởng tới cường độ bức xạ	12
1.4.1 Tỷ khối khí (Air mass)	12
1.4.2 Sự suy giảm cường độ bức xạ khi lan truyền qua lớp khí quyển	13
1.4.3 Ảnh hưởng bởi khoảng cách giữa Mặt Trời và Trái Đất	15
1.5 Vị trí theo giờ của Mặt Trời và hướng của tia bức xạ trên mặt đất	16
1.5.1 Định nghĩa các góc tạo ra bởi chùm tia bức xạ với các mặt phẳng	16
1.5.2 Hệ số chuyển đổi trực xạ từ mặt phẳng nằm ngang sang mặt phẳng nằm nghiêng	23
1.6 Các thiết bị đo bức xạ Mặt Trời và thời gian nắng	25
1.6.1 Máy đo cường độ bức xạ - Bức xạ kế(Pyranometer)	25
1.6.2 Máy đo trực xạ (Pyrheliometer)	27
1.6.3 Máy đo thời gian nắng	28
1.7 Năng lượng Mặt Trời ở Việt Nam	29
1.7.1 Cường độ bức xạ	29
1.7.2 Số giờ nắng trong cả năm	29
Câu hỏi và bài tập cuối chương 1	32
Chương hai: Tương tác chùm tia bức xạ với môi trường vật chất	
2.1 Định nghĩa các hệ số tương tác của chùm tia bức xạ lên một vật	33
2.1.1 Định nghĩa các hệ số tương tác	33
2.1.2 Thiết lập các biểu thức hệ số bức xạ tác dụng với kính dày	34
2.1.3 Chất hấp thụ	40

2.2 Hiệu ứng nhà kính	42
Câu hỏi và bài tập cuối chương 2	44

Chương ba: Sự truyền và trao đổi nhiệt giữa các vật

3.1 Phân loại các dạng truyền nhiệt	45
3.1.1 Sự truyền nhiệt trong môi trường vật chất	45
3.1.2 Sự truyền nhiệt chân không - trao đổi nhiệt do bức xạ	46
3.2 Các định luật cơ bản trong quá trình truyền nhiệt	46
3.2.1 Sự truyền nhiệt do dẫn nhiệt	46
3.2.2 Sự truyền nhiệt do đối lưu	48
3.2.3 Sự truyền nhiệt bằng bức xạ	54
3.3 Khảo sát các quá trình trao đổi nhiệt xảy ra đồng thời	57
3.3.1 Hệ số trao đổi nhiệt hỗn hợp đối lưu và bức xạ	57
3.3.2 Trường hợp chung	57
Câu hỏi và bài tập cuối chương 3	59

Chương bốn: Tính toán thiết kế bộ thu bức xạ nhiệt Mặt Trời dạng tấm phẳng (bộ thu phẳng)- đun nước nóng

4.1 Định nghĩa và kết cấu bộ thu phẳng	60
4.1.1 Định nghĩa bộ thu phẳng	60
4.1.2 Hình dạng của một vài loại thiết bị thu phẳng	61
4.2 Định nghĩa, giả thiết và phương pháp tính toán một bộ thu phẳng	65
4.2.1 Định nghĩa hiệu suất bộ thu	65
4.2.2 Các giả thiết đối với bộ thu phẳng	66
4.3 Tính tổn thất nhiệt toàn phần U_L của bộ thu	68
4.3.1 Định nghĩa tổn thất nhiệt toàn phần	68
4.3.2 Các dạng tổn thất nhiệt	69
4.4 Tính năng lượng có ích Q_u	73
4.4.1 Phân bố nhiệt độ theo phương x (uồng góc với dòng chảy)	73
4.4.2 Phương trình cân bằng năng lượng theo chiều dòng chảy	78
4.3 Hiệu suất thoát và thừa số lưu thông	79
4.5 Tính nhiệt độ trung bình của tấm hấp thụ	80
4.6 Nhiệt dung hiệu dụng của bộ thu	82
Bài tập ứng dụng	84
4.7 Một vài thiết bị đun nước nóng có kết cấu khác	89

4.7.1 Môđun ống rời rạc	89
4.7.2 Bộ thu có mặt cách nhiệt trong suốt dạng tổ ong	91
Câu hỏi và bài tập chương 4	93

Chương năm. Bộ thu nung nóng không khí

5.1 Kết cấu bộ thu phẳng nung nóng không khí	95
5.2 Tính hiệu suất và độ sụt áp cho bộ thu nung nóng không khí	96
5.2.1 Tính hiệu suất	96
5.2.2 Sự truyền nhiệt và sụt áp trong kênh dẫn song song	100
5.3 Một vài dạng bộ nung khí khác	104
5.3.1 Dòng chảy trong kênh nằm giữa kính đáy và tấm hấp thụ	104
5.3.2 Bộ nung khí với tấm hấp thụ có cánh	105
5.3.3 Bộ nung khí hai kênh	110
Câu hỏi và bài tập chương 5	111

Chương sáu. Thiết bị thu bức xạ hội tụ

6.1 Mở đầu	112
6.1.1 Những khái niệm và định nghĩa tổng quát	112
6.1.2 Phân loại các mô hình hội tụ bức xạ	113
6.2 Thiết bị hội tụ tấm phẳng có mặt phản xạ hỗ trợ	115
6.3 Bộ thu dạng parabol trụ	116
6.3.1 Mô tả hình dạng	116
6.3.2 Định hướng theo Mặt Trời	117
6.3.3 Tính hiệu suất	122
6.3.4 Hệ số tổn thất nhiệt toàn phần và các hệ thức truyền nhiệt	125
6.4 Bộ thu hội tụ ứng dụng hiệu ứng quang-nhiệt trong hệ thống nhà máy điện Mặt Trời	140
6.4.1 Hệ thống gương phản xạ	141
6.4.2 Bộ tiếp nhận và biến đổi năng lượng	143
6.4.3 Chất tải nhiệt dùng trong hệ nhà máy điện Mặt Trời	144
6.4.4 Tính các thông số cơ bản trong hệ hội tụ	144
Câu hỏi và bài tập chương 6	148

Chương bảy. Hệ đun nước nóng có tích trữ nhiệt

7.1 Các hệ tuần hoàn tự nhiên - còn được gọi là hiệu ứng siphon nhiệt	149
7.1.1 Hiệu ứng siphon nhiệt	149
7.1.2 Hệ tuần hoàn cưỡng bức	150
7.1.3 Hệ bình chứa không có bộ trao đổi nhiệt	151
7.1.4 Hệ có hai chất lỏng và bình chứa có bộ trao đổi nhiệt	151
7.2 Thiết lập và giải phương trình cho hệ thống thu và tích nhiệt	152
7.2.1 Thiết lập phương trình cho hệ thống chế độ quá độ	152
7.2.2 Các nghiệm của hệ phương trình và kết quả	154
7.3 Những vấn đề đặt ra khi tích trữ nhiệt	156
7.3.1 Các dữ liệu tổng quát của quá trình tích trữ nhiệt	157
7.3.2 Tính nhiệt năng khi tích trữ bằng chất cảm nhiệt	157
7.3.3 Tích trữ nhiệt bằng chất cảm nhiệt có ẩn nhiệt	158
7.4 Kích thước của các bộ trao đổi nhiệt (hệ thu - tích nhiệt)	160
7.4.1 Bộ trao đổi nhiệt - bình tích nhiệt	160
7.4.2 Bộ trao đổi nhiệt và bộ thu phẳng	162
7.5 Một vài điều kết luận	162

Chương tám. Ứng dụng hiệu ứng nhà kính để chưng cất nước

8.1 Nguyên lý của chưng cất nước	164
8.1.1 Chưng cất nước theo phương pháp cổ điển	164
8.1.2 Thiết bị chưng cất nước bằng năng lượng Mặt Trời dạng phẳng	165
8.2 Các thông số và những đặc trưng của thiết bị chưng cất nước dạng phẳng	166
8.2.1 Các thông số bên ngoài	166
8.2.2 Các thông số bên trong	166
8.2.3 Các đặc trưng hoạt động của thiết bị	166
8.3 Thiết lập các phương trình trao đổi nhiệt	167
8.3.1 Cân bằng nhiệt trong khối nước	167
8.3.2 Cân bằng nhiệt trên tấm kính	168
8.3.3 Trao đổi nhiệt giữa kính và môi trường	168
8.4 Các kết quả thực nghiệm và những giá trị thực tế	168
8.4.1 Độ nghiêng của tấm kính	169
8.4.2 Chiều dày của lớp nước chưng cất	169
8.4.3 Cách nhiệt đối với thiết bị chưng cất	169

8.4.4	Trạng thái bề mặt của mặt trong của thiết bị chung cất	170
8.4.5	Ảnh hưởng của các thông số về thời tiết đến các đặc trưng của thiết bị chung cất phẳng	170
8.5	Thiết bị chung cất dạng cầu (Balayage)	171
8.5.1	Nguyên lý cấu tạo	171
8.5.2	So sánh kết quả giữa hai loại thiết bị dạng phẳng và dạng cầu	172
8.5.3	Các đặc trưng của thiết bị chung cất dạng cầu	173
8.6	Những kết luận đối với các thiết bị chung cất nước bằng năng lượng Mặt Trời	174

Chương chín. Các loại vật liệu dùng trong thiết bị nhiệt Mặt Trời

9.1	Tấm dây trong suốt	176
9.1.1	Kính xây dựng	176
9.1.2	Polycarbonat	177
9.1.3	Polymethacrylat methyl	177
9.1.4	Các loại tấm dây khác	177
9.2	Tấm hấp thụ	178
9.3	Chất cách nhiệt	179
9.3.1	Các chất cách nhiệt khoáng chất	180
9.3.2	Chất cách nhiệt thực vật hữu cơ	180
9.3.3	Chất cách nhiệt hữu cơ tổng hợp	181
9.4	Chất tải nhiệt	181
9.4.1	Không khí	181
9.4.2	Nước	182
9.4.3	Các chất gílotherm	

Chương mười. Đánh giá hiệu quả kinh tế của một thiết bị sử dụng năng lượng nhiệt Mặt Trời

10.1	Một vài định nghĩa	183
10.2	Công nhận phương pháp tính lãi suất theo hiện tại hoá	184
10.3	Công nhận sự tăng giá nhiên liệu với khái niệm hiện tại hoá	185
10.4	Các ví dụ cụ thể	186
10.5	Một vài phương pháp khác tính hiệu quả kinh tế của thiết bị UDNLMT	189
10.5.1	Phương pháp tổng quát	189

10.5.2 Phương pháp tính toán dựa trên cân bằng giữa tổng chi phí và tổng giá trị sinh lợi	190
10.6 Một vài yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến khả năng sinh lợi của thiết bị	192
10.6.1 Ảnh hưởng của thời tiết	192
10.6.2 Ảnh hưởng của vị trí địa lý	193
10.6.3 Ảnh hưởng bởi yếu tố sử dụng	193
Phụ lục	
Phụ lục I. Cường độ bức xạ tổng xạ trung bình ngày và trực xạ trung bình ngày của các tháng trong năm và cả năm	195
Phụ lục II. Hệ số phát xạ trên một số bề mặt của các vật khác nhau	196
2.1 Hệ số phát xạ toàn phần phương pháp tuyến	196
2.2 Hệ số phát xạ bán cầu	197
Phụ lục III. Tính chất vật lý của không khí khô ở áp suất $p=760\text{mmHg}$	197
Phụ lục IV. Một số tính chất vật lý của chất rắn ở 20°C	197
4.1 Vật liệu kim loại	197
4.2 Vật liệu phi kim loại	198
Phụ lục V. Tính chất vật lý của một vài chất lỏng	198
Tài liệu tham khảo	199
Mục lục	201

TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI
NGUYỄN CÔNG VÂN

**NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI
QUÁ TRÌNH NHIỆT VÀ ỨNG DỤNG**

Chịu trách nhiệm xuất bản :

Biên tập và sửa bài :

Trình bày bìa :

PGS. TS. TÔ ĐĂNG HẢI

ThS. NGUYỄN HUY TIẾN

NGỌC LINH

HƯƠNG LAN

**NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
70, TRẦN HUNG ĐẠO – HÀ NỘI**

In 700 bản, khổ 19 x 27 cm tại Xí nghiệp in NXB Lý luận chính trị
Giấy phép xuất bản số: 150-53, cấp ngày 4/2/2005
In xong và nộp lưu chiểu tháng 10 năm 2005.

205325



Giá: 38.000đ