

2009

Kỹ thuật nhiệt điện

Phan Quang Xương

Đà Nẵng, 2009



LỜI NÓI ĐẦU

Quyển Giáo trình "Kỹ thuật nhiệt điện" này được biên soạn theo đề cương chi tiết đã được duyệt, dùng cho sinh viên khoa Điện hệ chính qui, tại chức các trường Đại học Kỹ thuật. Giáo trình này cũng có thể dùng làm tài liệu học tập cho sinh viên các ngành kỹ thuật hệ cao đẳng hoặc làm tài liệu tham khảo cho cán bộ kỹ thuật các ngành Nhiệt và các ngành có liên quan.

Nội dung giáo trình gồm 4 phần:

Phần thứ nhất: Giới thiệu chung về các loại nhà máy điện.

Phần thứ hai là Thiết bị lò hơi. Phần này gồm 5 chương, trong đó trình bày các khái niệm chung về nhà máy điện, nguyên lý làm việc và đặc điểm cấu tạo của các bộ phận lò hơi.

Phần thứ ba là Tua bin hơi và khí. Phần này gồm 4 chương, trong đó trình bày nguyên lý làm việc của Tua bin hơi và tuốc bin khí, các loại tua bin để sản xuất điện năng và nhiệt năng và đặc điểm cấu tạo các bộ phận của Tua bin.

Phần thứ tư là nhà máy điện. Phần này gồm 2 chương, trong đó trình bày các khái niệm chung về nhà máy điện, các chỉ tiêu kinh tế, kỹ thuật và các thiết bị phụ của nhà máy điện.

TS. Hoàng Ngọc Đồng biên soạn các chương: 1, 2, 3, 4, 5 và 10.

PGS.TSKH. Phan Quang Xung biên soạn các chương 6, 7, 8, 9, và 11.

Các tác giả mong được tiếp nhận và cảm ơn các ý kiến góp ý về nội dung và hình thức của quyển giáo trình này. Thư góp ý gửi về theo địa chỉ: Khoa Công nghệ nhiệt - Điện lạnh, Trường Đại học Kỹ thuật-Đại học Đà Nẵng, Hòa Khánh-Liên Chiểu TP. Đà Nẵng.

CÁC TÁC GIẢ

PHẦN 1. KHÁI NIỆM VỀ NHÀ MÁY ĐIỆN

Chương 1. MỞ ĐẦU

1.1 CÁC NGUỒN NĂNG LƯỢNG CÓ THỂ SẢN XUẤT ĐIỆN NĂNG

Sự phát triển năng lượng ở mỗi quốc gia phụ thuộc nhiều vào điều kiện tự nhiên, vào tiềm lực khoa học kỹ thuật, tiềm năng kinh tế và mức độ phát triển các ngành của nền kinh tế.

Các nhà máy có nhiệm vụ biến đổi năng lượng thiên nhiên thành điện năng được gọi là nhà máy điện. Năng lượng thiên nhiên dự trữ dưới nhiều dạng khác nhau và có thể biến đổi thành điện năng. Từ các dạng năng lượng dự trữ này có thể cho phép ta xây dựng các loại nhà máy điện khác nhau:

Từ năng lượng của nhiên liệu hữu cơ có thể xây dựng nhà máy nhiệt điện;

Từ năng lượng của dòng nước có thể xây dựng nhà máy thủy điện;

Từ năng lượng gió có thể xây dựng nhà máy điện sức gió;

Từ năng lượng sóng biển có thể xây dựng nhà máy điện thủy triều;

Từ năng lượng mặt trời có thể xây dựng nhà máy điện mặt trời;

Từ nguồn nóng trong lòng đất có thể xây dựng nhà máy điện địa nhiệt;

Từ năng lượng hạt nhân có thể xây dựng nhà máy điện hạt nhân.

Trong giáo trình này, chúng ta chỉ tập trung nghiên cứu nhà máy nhiệt điện.

Nhà máy nhiệt điện thực hiện việc biến đổi nhiệt năng của nhiên liệu thành cơ năng rồi điện năng, quá trình biến đổi đó được thực hiện nhờ tiến hành một số quá trình liên tục (một chu trình) trong một số thiết bị của nhà máy. Nhà máy nhiệt điện hoạt động dựa trên hai nguyên tắc: có thể theo chu trình thiết bị động lực hơi nước hoặc có thể là chu trình hỗn hợp tuốc bin khí-hơi.

1.2. NGUYÊN LÝ HOẠT ĐỘNG CỦA NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN

1.2.1. Nhà máy điện áp dụng chu trình tuốc bin hơi nước

Hiện nay, trên thế giới người ta đã xây dựng được tất cả các loại nhà máy điện biến đổi các dạng năng lượng thiên nhiên thành điện năng. Tuy nhiên sự hoàn thiện, mức độ hiện đại và giá thành điện năng của các loại nhà máy điện đó rất khác nhau, tùy thuộc vào thời gian được nghiên cứu phát triển loại hình nhà máy điện đó. Đối với những nước đang phát triển như Việt Nam, do nền công nghiệp còn chậm phát triển, tiềm năng về kinh tế còn yếu do đó xây dựng chủ yếu nhà máy nhiệt điện dùng Tuốc bin hơi hoặc dùng chu trình hỗn hợp, trong đó biến đổi năng lượng của nhiên liệu thành điện năng.

1.2.1.1. Chu trình Carno hơi nước

Ở phần nhiệt động ta đã biết chu trình Carno thuận chiều là chu trình có hiệu suất nhiệt cao nhất khi có cùng nhiệt độ nguồn nóng và nguồn lạnh. Chu trình Carno lý tưởng gồm 2 quá trình đoạn nhiệt và 2 quá trình đẳng nhiệt. Về mặt kỹ thuật, dùng

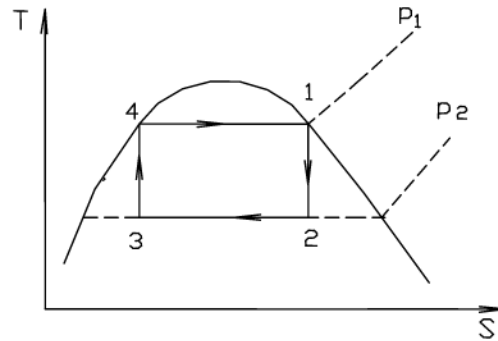
khí thực trong phạm vi bão hòa có thể thực hiện được chu trình Carno và vẫn đạt được hiệu suất nhiệt lớn nhất khi ở cùng phạm vi nhiệt độ.

Chu trình Carno áp dụng cho khí thực trong vùng hơi bão hòa được biểu diễn trên hình 1.1. Tuy nhiên, đối với khí thực và hơi nước thì việc thực hiện chu trình Carno rất khó khăn, vì những lý do sau đây:

- Quá trình hơi nở nhiệt đẳng áp, ngưng tụ thành nước (quá trình 2-3) là quá trình ngưng tụ thực hiện không hoàn toàn, hơi ở trạng thái 3 vẫn là hơi bão hòa, có thể tích riêng rất lớn, do đó để thực hiện quá trình nén đoạn nhiệt hơi ẩm theo quá trình 3-4, cần phải có máy nén kích thước rất lớn và tiêu hao công rất lớn.

- Nhiệt độ tới hạn của nước thấp ($374,15^{\circ}\text{C}$) nên độ chênh nhiệt độ giữa nguồn nóng và nguồn lạnh của chu trình không lớn lắm, do đó công của chu trình nhỏ.

- Độ ẩm của hơi trong tuốc bin cao, các giọt ẩm có kích thước lớn sẽ va đập vào cánh tuốc bin gây tổn thất năng lượng và ăn mòn nhanh cánh Tuốc bin.



Hình 1.1 chu trình Carno hơi nước

1.2.1.2. Sơ đồ thiết bị và đồ thị chu trình nhà máy điện

Như chúng ta đã biết, tuy có hiệu suất nhiệt cao nhưng chu trình Carno có một số nhược điểm như đã nêu ở trên khi áp dụng cho khí thực, nên trong thực tế người ta không áp dụng chu trình Carno mà áp dụng một chu trình cải tiến gần với chu trình này gọi là chu trình Renkin. Chu trình Renkin là chu trình thuận chiều, biến nhiệt thành công.

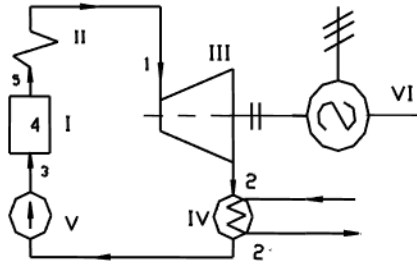
Chu trình Renkin là chu trình nhiệt được áp dụng trong tất cả các loại nhà máy nhiệt điện, môi chất làm việc trong chu trình là nước và hơi nước. Tất cả các thiết bị của các nhà máy nhiệt điện đều giống nhau trừ thiết bị sinh hơi I. Trong thiết bị sinh hơi, nước nhận nhiệt để biến thành hơi.

Đối với nhà máy nhiệt điện, thiết bị sinh hơi là lò hơi, trong đó nước nhận nhiệt từ quá trình đốt cháy nhiên liệu. Đối với nhà máy điện mặt trời hoặc địa nhiệt, nước nhận nhiệt từ năng lượng mặt trời hoặc từ nhiệt năng trong lòng đất. Đối với nhà máy điện nguyên tử, thiết bị sinh hơi là thiết bị trao đổi nhiệt, trong đó nước nhận nhiệt từ chất tải nhiệt trong lò phản ứng hạt nhân ra.

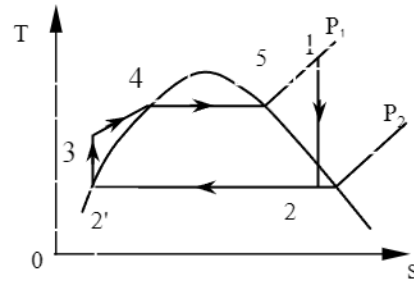
Sơ đồ thiết bị của chu trình nhà máy nhiệt điện được trình bày trên hình 1.2, gồm hai thiết bị chính để biến đổi năng lượng là lò hơi và tuốc bin cùng một số thiết bị phụ khác. Đồ thị T-s của chu trình được biểu diễn trên hình 1.2.

Nước ngưng trong bình ngưng IV (ở trạng thái 2' trên đồ thị) có thông số p_2, t_2, i_2 , được bơm V bơm vào thiết bị sinh hơi I, áp suất tăng từ p_2 đến áp suất p_1 (quá trình 2'-3). Trong thiết bị sinh hơi, nước trong các ống sinh hơi nhận nhiệt tỏa ra từ quá trình cháy, nhiệt độ tăng lên đến sôi (quá trình 3-4), hoá hơi (quá trình 4-5) và thành hơi quá nhiệt trong bộ quá nhiệt II (quá trình 5-1). Quá trình 3-4-5-1 là quá trình hóa hơi đẳng áp ở áp suất $p_1 = \text{const}$. Hơi ra khỏi bộ quá nhiệt II (ở trạng thái 1) có thông số p_1, t_1 đi vào tuốc bin III, ở đây hơi dẫn nở đoạn nhiệt đến trạng thái 2, biến nhiệt

năng thành cơ năng (quá trình 1-2) và sinh công trong tuốc bin. Hơi ra khỏi tuốc bin có thông số p_2, t_2 , đi vào bình ngưng IV, ngưng tụ thành nước (quá trình 2-2'), rồi lại được bơm V bơm trở về lò. Quá trình nén đoạn nhiệt trong bơm có thể xem là quá trình nén đẳng tích vì nước không chịu nén (thể tích ít thay đổi).



Hình 1.2. Sơ đồ thiết bị nhà máy điện



Hình 1.3. Đồ thị T-s của chu trình NMNĐ

1.2.1.3. Hiệu suất nhiệt lý tưởng của chu trình Renkin

Nhiệt lượng môi chất nhận được trong quá trình đẳng áp 3-1 ở lò hơi là:

$$q_1 = i_1 - i_3$$

Nhiệt lượng môi chất nhả ra cho nước làm mát trong quá trình đẳng áp 2-2' ở bình ngưng là:

$$q_2 = i_2 - i_{2'}$$

Hiệu suất nhiệt của chu trình η_t được tính theo công thức:

$$\eta_{ct} = \frac{q_1 - |q_2|}{q_1} = \frac{l}{q_1} \quad (1-1)$$

Thông thường, ở áp suất không cao lắm, công tiêu tốn cho bơm nước cấp rất bé so với công Tuốc bin sinh ra nên ta có thể bỏ qua công bơm, nghĩa là coi $i_{2'} \approx i_3$. Khi đó công của chu trình sẽ bằng:

$$l = q_1 - |q_2| = i_1 - i_3 - i_2 + i_{2'} \approx i_1 - i_2 \quad (1-2)$$

Hiệu suất nhiệt chu trình sẽ bằng:

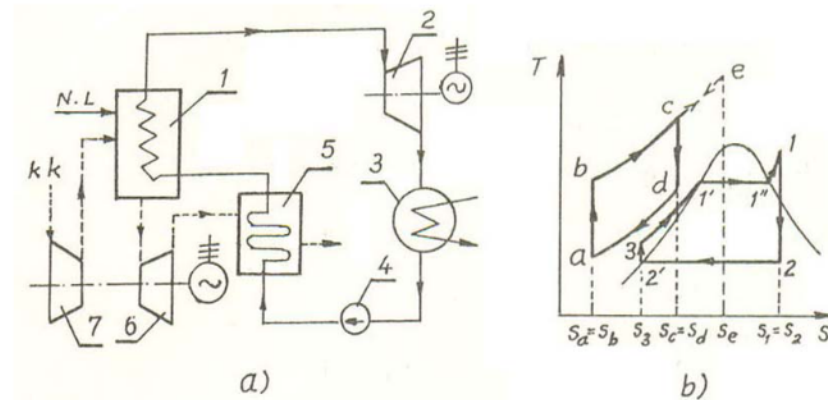
$$\eta_{ct} = \frac{l}{q_1} = \frac{i_1 - i_2}{i_1 - i_3} \quad (1-3)$$

1.2.2. Nhà máy điện dùng chu trình hỗn hợp Tuốc bin khí - hơi

Chu trình hỗn hợp là một chu trình ghép, gồm chu trình Renkin hơi nước và chu trình Tuốc bin khí. Sơ đồ thiết bị và đồ thị T-s của chu trình được thể hiện trên hình 1.4. Hệ thống thiết bị bao gồm: thiết bị sinh hơi 1 (buồng đốt); tuốc bin hơi nước 2; bình ngưng hơi 3; bơm nước cấp 4; bộ hâm nước 5; tuốc bin khí 6; máy nén không khí 7.

Nguyên lí làm việc của chu trình thiết bị như sau: Không khí được nén đoạn nhiệt trong máy nén 7 đến áp suất và nhiệt độ cao, được đưa vào buồng đốt 1 cùng với nhiên liệu và cháy trong buồng đốt dưới áp suất cao, không đổi. Sau khi nhả một phần nhiệt cho nước trong dàn ống của buồng đốt 1, sản phẩm cháy đi vào tước bin khí 6, dẫn nở sinh công. Ra khỏi tước bin khí, sản phẩm cháy có nhiệt độ còn cao, tiếp tục đi qua bộ hâm nước 5, gia nhiệt cho nước rồi thải ra ngoài.

Nước được bơm 4 bơm qua bộ hâm nước 5, vào dàn ống của buồng đốt 1. Ở đây nước nhận nhiệt và biến thành hơi quá nhiệt. Hơi quá nhiệt đi vào tước bin hơi 2, dẫn nở đoạn nhiệt và sinh công. Ra khỏi tước bin, hơi đi vào bình ngưng 3 nhả nhiệt đẳng áp, ngưng tụ thành nước rồi được bơm 4 bơm trở về lò, lặp lại chu trình cũ.



Hình 1.3. Sơ đồ thiết bị và đồ thị $T-s$ của chu trình hỗn hợp

Đồ thị $T-s$ của chu trình nhiệt được biểu diễn trên hình 1.4. Nhiệt lượng do nhiên liệu cháy tỏa ra trong quá trình be chia thành hai phần: một phần dùng để sản xuất hơi nước trong thiết bị sinh hơi 1, một phần cấp cho tước bin khí 6.

- a-b: quá trình nén đoạn nhiệt không khí trong máy nén khí 7;
- b-c: quá trình cấp nhiệt (cháy) đẳng áp trong buồng đốt 1;
- c-d: quá trình dẫn nở đoạn nhiệt sinh công trong tước bin khí 6;
- d-a: quá trình nhả nhiệt đẳng áp trong bộ hâm nước 5;
- 3-4-5-1: quá trình nước nhận nhiệt đẳng áp trong bộ hâm 5 và buồng đốt 1;
- 1-2; 2-2'; 2'-3 là các quá trình dẫn nở đoạn nhiệt trong tước bin, ngưng đẳng áp trong bình ngưng, nén đoạn nhiệt trong bơm như ở chu trình Renkin.

Hiệu suất chu trình là:

$$\eta_{ct} = \frac{1}{q_1} \quad (1-4)$$

Trong đó:

l : Công của tước bin hơi và tước bin khí, $l = l_h + l_k$

q_1 : nhiệt lượng nhiên liệu tỏa ra khi cháy trong buồng đốt 1.

1.3 CÁC LOẠI PHỤ TÀI NHIỆT VÀ ĐIỆN

Hiện nay, các nhà máy điện có thể được xây dựng để đảm bảo yêu cầu của các hộ dùng điện hoặc vừa đảm bảo nhu cầu điện vừa đảm bảo nhu cầu về nhiệt của các

hộ tiêu thụ như ở các khu dân cư thuộc các nước xứ lạnh hoặc các khu công nghiệp lớn như khu công nghiệp giấy Bãi Bằng; khu công nghiệp Việt Trì; các nhà máy đường; các khu chế xuất . . v.v.

1.3.1. Phụ tải điện

Phụ tải điện của nhà máy hay của hệ thống điện bao gồm:

- Phụ tải công nghiệp: điện cung cấp cho các nhà máy, các khu công nghiệp;
- Phụ tải nông nghiệp: điện cung cấp cho các hệ thống trạm bơm;
- Phụ tải Giao thông: điện cung cấp cho các thiết bị giao thông vận tải như tàu điện; ô tô điện; tàu điện ngầm; tàu hỏa. . .
- Phụ tải sinh hoạt: điện cung cấp trực tiếp cho nhu cầu sinh hoạt hàng ngày của con người như thắp sáng, đun nấu, vui chơi giải trí.

1.3.2. Phụ tải nhiệt

Trong các khu công nghiệp và các thành phố lớn, nhu cầu nhiệt cho các quá trình công nghệ như đun sôi, chưng cất, sấy, của các nhà máy (như hóa chất; chế biến thực phẩm; thuốc lá; rượu; bia . . v. v) hoặc sưởi ấm ở các nước xứ lạnh là rất lớn. Cung cấp năng lượng nhiệt cho các hộ tiêu thụ này hợp lý nhất là sử dụng phần năng lượng nhiệt còn lại trong quá trình sản xuất điện năng.

Nhà máy điện vừa cung cấp nhiệt, vừa cung cấp điện cho các hộ tiêu thụ gọi là trung tâm nhiệt điện.

Nhiệt lượng cung cấp từ trung tâm nhiệt điện có thể là hơi hoặc nước nóng. Theo yêu cầu của các hộ dùng nhiệt, có thể phân thành các loại hộ dùng nhiệt như sau:

Phụ tải công nghiệp: Nhiệt năng cung cấp cho các quá trình công nghệ trong các nhà máy, thường là hơi có áp suất từ 3,5at đến 16 at (0,35 đến 1,6 Mpa) với độ quá nhiệt từ 25 đến 50 °C nhằm đảm bảo cho hơi chưa bị ngưng tụ thành nước trước khi đến hộ tiêu thụ .

Phụ tải sinh hoạt: Nhiệt năng cung cấp cho các quá trình sấy sưởi trong khu dân cư, thường là nước nóng có nhiệt độ từ 55 đến 150 °C hoặc hơi có áp suất từ 1,5at đến 3 at (0,15 đến 0,3 Mpa).

Phụ tải điện và phụ tải nhiệt thay đổi theo giờ trong ngày, theo tháng và theo mùa phụ thuộc vào chế độ làm việc của các nhà máy và sinh hoạt ở các khu dân cư. Sự phụ thuộc của phụ tải vào thời gian được biểu thị trên đồ thị gọi là đồ thị phụ tải.

Trên đồ thị phụ tải, phần phía dưới gọi là phụ tải gốc, có giá trị ổn định, còn phần đỉnh gọi là phụ tải ngọn, có giá trị thay đổi liên tục.

Các nhà máy điện lớn, hiện đại, có hiệu suất cao được gọi là nhà máy điện chính, thường mang phụ tải gốc, chạy thường xuyên, số giờ sử dụng thiết bị hàng năm cao.

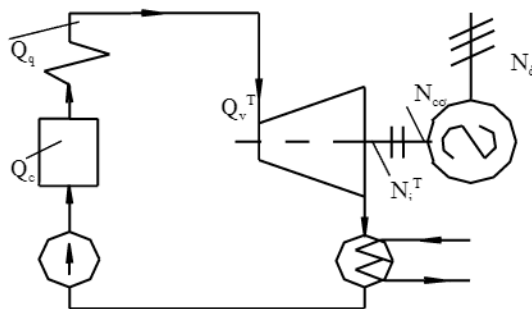
Các nhà máy điện nhỏ, cũ, có hiệu suất thấp hoặc là nhà máy điện tuốc bin khí, nhà máy thủy điện trong thời kỳ cạn nước được gọi là nhà máy điện cao điểm, thường mang phụ tải ngọn (phụ tải thay đổi thường xuyên).

PHẦN 3. NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN

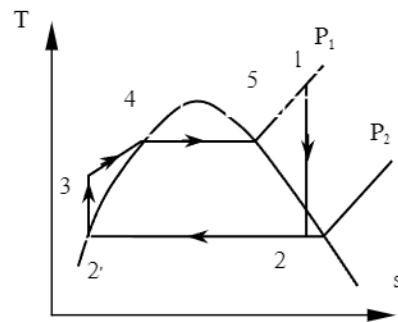
Chương 10. HIỆU QUẢ KINH TẾ TRONG SẢN XUẤT ĐIỆN NĂNG VÀ NHIỆT NĂNG

10.1. HIỆU QUẢ KINH TẾ CỦA NHÀ MÁY NHIỆT ĐIỆN NGUNG HƠI

Như đã trình bày ở mục 1.2, nhà máy điện ngưng hơi thuần túy làm việc theo chu trình Renkin được biểu diễn trên hình 10.1.



Hình 10.1. Sơ đồ thiết bị nhà máy điện



Hình 10.2. Đồ thị T-s của chu trình NMD

Hiệu quả kinh tế nhiệt của nhà máy điện được biểu thị bằng hiệu suất nhiệt η_{nm} - là tỉ số giữa năng lượng điện nhận được và lượng nhiệt tiêu hao:

$$\eta_{nm}^{th} = \frac{N_d}{Q_{cc}} = \frac{N_d}{B_{tt} Q_t^{lv}} \quad (10-1)$$

N_d - Công suất điện của nhà máy, KW

B_{tt} - lượng nhiên liệu tiêu hao trong một giây, (kg/s)

Q_t^{lv} - Nhiệt trị nhiên liệu (kJ/kg),

η_{nm}^{th} - Hiệu suất thô của nhà máy điện (khi chưa kể đến lượng điện tự dùng),

Mức độ kinh tế của nhà máy phụ thuộc vào hiệu suất của chu trình nhiệt, hiệu suất các thiết bị trong nhà máy như: lò hơi, tuốc bin, bình ngưng và một số thiết bị phụ. Trong quá trình biến đổi từ nhiệt năng thành điện năng luôn có các tổn thất sau:

- Tổn thất nhiệt ở lò hơi
- Tổn thất nhiệt trong tuốc bin,
- Tổn thất nhiệt trong bình ngưng,
- Tổn thất cơ của tuốc bin-máy phát do ma sát,
- Tổn thất nhiệt dọc các đường ống, gọi là tổn thất truyền tải nhiệt.

Biến đổi công thức (10-1) ta có:

$$\eta_{nm}^{th} = \frac{N_d}{B_{tt} Q_t^{lv}} = \frac{N_d}{N_{co}} \frac{N_{co}}{N_i^T} \frac{N_i^T}{Q_v^T} \frac{Q_v^T}{Q_{qn}} \frac{Q_{qn}}{Q_{cc}} \quad (10-2)$$

Trong đó: N_d - Công suất điện của nhà máy,
 N_{co} - Công suất cơ trên trục máy phát,
 N_i^T - Công suất trong thực tế của tuốc bin,
 Q_v^T - Lượng nhiệt cung cấp cho tuốc bin,
 $Q_{qn} = G_{qn} (i_{qn} - i_{nc})$ - nhiệt lượng hơi quá nhiệt,
 $Q_c = B_{tt} Q_t^{lv}$ - lượng nhiệt do nhiên liệu mang vào,
 G_{qn} - lượng hơi tiêu hao trong một giây,

Từ (10-2) ta thấy:

$$\eta_{mp} = \frac{N_d}{N_{co}} \text{ là hiệu suất của máy phát,}$$

$$\eta_{co} = \frac{N_{co}}{N_i^T} \text{ là hiệu suất cơ khí,}$$

$$\eta_{td}^{TB} = \frac{N_i^T}{Q_v^T} \text{ là hiệu suất trong tương đối của tuốc bin,}$$

$$\eta_{tt} = \frac{Q_v^T}{Q_{qn}} \text{ là hiệu suất của quá trình truyền tải nhiệt năng,}$$

$$\eta_{lo} = \frac{Q_{qn}}{Q_{cc}} \text{ là hiệu suất của lò hơi,}$$

Hiệu suất thô của nhà máy có thể viết:

$$\eta_{nm}^{tho} = \frac{N_d}{Q_{qn}} = \eta_{mp} \eta_{co} \eta_{td}^{TB} \eta_{tt} \eta_{lo} \quad (10-3)$$

Công suất điện sinh ra trên các cực của máy phát là:

$$N_d = GH_0 \eta_{td}^{TB} \eta_{co} \eta_{mp} \quad (10-4)$$

Ở đây: G là lưu lượng hơi vào tuốc bin, (kg/s),

H_0 là nhiệt đáng lý thuyết của tuốc bin,

Suất tiêu hao hơi của tuốc bin là lượng hơi tiêu hao để sản xuất ra 1Kwh điện, bằng:

$$d_d = \frac{G}{N_d} = \frac{1}{H_0 \eta_{td}^{TB} \eta_{co} \eta_{mp}}, \text{ (kg/Kj);} \quad (10-5)$$

$$d_d = \frac{G}{N_d} = \frac{3600}{H_0 \eta_{td}^{TB} \eta_{co} \eta_{mp}}, \text{ (kg/Kwh);} \quad (10-6)$$

Suất tiêu hao nhiệt của tuốc bin là lượng nhiệt tiêu hao để sản xuất ra 1Kwh điện, bằng:

$$q_d = \frac{Q_d}{N_d} = \frac{G(i_1 - i_2)}{N_d} = d_d(i_1 - i_2), \text{ (kj/Kwh)} \quad (10-7)$$

Suất tiêu hao nhiệt của nhà máy là lượng nhiệt tiêu hao để sản xuất ra 1Kwh điện có kể đến tổn thất trong lò và tổn thất truyền dẫn hơi đi, bằng: