

## Chương VI: THÁP ĐIỀU ÁP

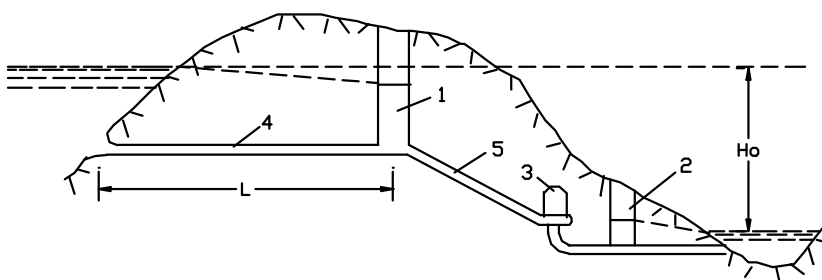
### 6.1. TÁC DỤNG, ĐIỀU KIỆN ỨNG DỤNG VÀ CÁC LOẠI THÁP ĐIỀU ÁP

#### 6.1.1. Công dụng

Như trên đã thấy, đường ống dẫn nước vào tuốc bin của trạm thủy điện, ngoài áp lực nước thông thường, còn phải chịu thêm áp lực nước và khí đóng mở turbin.

Nếu tạo ra một mặt thoáng ở một vị trí nào đó trên đường ống, thì ở đó áp lực nước và được giải phóng, và từ vị trí này trở lên thượng lưu đường ống sẽ không chịu áp lực nước và nữa.

Tháp điều áp chính là một bộ phận tạo ra mặt thoáng (hình 6-1) nói trên. Do đó nó có tác dụng giữ cho đường hầm dẫn nước phía trước tháp khỏi bị áp lực nước va. Ngoài ra nó còn làm giảm nhỏ áp lực ở phần đường ống dẫn nước từ tháp vào tuốc bin.



**Hình 6-1:** Sơ đồ đặt tháp điều áp

1. Tháp điều áp phía thượng lưu
2. Tháp điều áp phía hạ lưu
3. Nhà máy thủy điện
4. Đường hầm dẫn nước
5. Đường ống áp lực dẫn nước vào tuốc bin

bin

#### 6.1.2. Điều kiện và vị trí đặt tháp

Như trên đã nói tác dụng của tháp điều áp. Vậy khi thiết kế thường phải so sánh kinh tế, nếu thấy chi phí để xây tháp nhỏ hơn chi phí giảm bớt do đường hầm dẫn nước không phải chịu áp lực nước va, thì xây dựng tháp điều áp là hợp lý. Trường hợp ngược lại, chi phí để xây tháp lớn hơn chi phí giảm bớt của đường hầm dẫn nước do hiệu quả của tháp đem lại, thì không nên xây dựng tháp điều áp.

Tiêu chuẩn gần đúng cần thiết phải xây dựng tháp điều áp có thể căn cứ vào hằng số quán tính của đường ống :

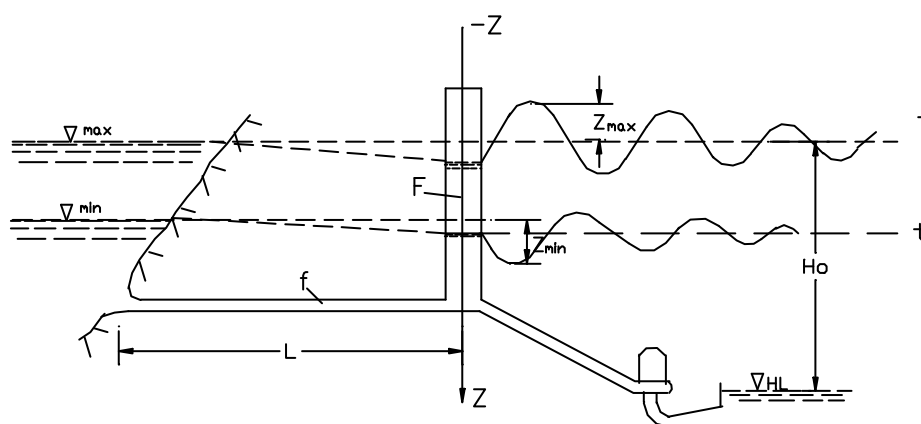
$$T_w = \frac{Q_{\max}}{gH_o} \sum \frac{l_i}{F_i} > 3 \div 6 \text{ s.} \quad (6-1)$$

trong đó:  $Q_{\max}$ - lưu lượng lớn nhất chảy trong ống;  $H_o$  - cột nước tính toán;  $l_i$  ,  $F_i$  - tương ứng là chiều dài và diện tích tiết diện đoạn ống thứ  $i$ .

Với tác dụng nêu trên, rõ ràng là vị trí của tháp càng gần nhà máy càng có lợi. Nhưng thông thường như vậy chiều cao của tháp càng phải tăng. Dung hoà hai đặc điểm này tháp thường đặt ở chỗ bắt đầu chuyển sang độ dốc lớn của tuyến ống.

Trong trường hợp đường hầm thoát nước từ turbin ra hạ lưu quá dài, có khi cũng phải đặt tháp điều áp cho đường thoát. Khi đó tháp ở gần turbin là hợp lý.

### 6.1.3. Nguyên lý làm việc của tháp điều áp



**Hình 6-2.** Sơ đồ dao động mực nước trong tháp điều áp.

#### 1. Trường hợp giảm tải

Khi giảm tải đột ngột lưu lượng tuốc bin từ  $Q_0$  xuống  $Q_1$ . Do quán tính của dòng chảy, lưu lượng vào đường hầm dẫn nước vẫn là  $Q_0$ , như vậy sẽ có một trị số lưu lượng  $\Delta Q = Q_0 - Q_1$  chảy vào tháp, làm cho mực nước trong tháp dâng lên dần, từ đó độ chênh lệch mực nước giữa thượng lưu (trong hồ chứa) và trong tháp giảm dần, dẫn đến vận tốc dòng chảy giảm dần, do đó lưu lượng trong đường hầm giảm dần. Nhưng cũng do quán tính của dòng chảy, mực nước trong tháp không dừng ở mực nước tương ứng với lưu lượng  $Q_1$  trong đường hầm mà vẫn tiếp tục dâng nên thậm chí cao hơn cả mực nước thượng lưu. Sau đó, để cân bằng thủy lực nước phải chảy ngược trở lại về thượng lưu, mực nước trong tháp hạ xuống. Nhưng cũng do lực quán tính nó lại hạ xuống quá mực nước cân bằng và dòng chảy lại phải chảy vào tháp. Cứ như vậy, mực nước trong tháp dao động theo chu kỳ và tắt dần do ma sát. Cuối cùng mực nước trong tháp dừng ở mực nước ổn định mới ứng với lưu lượng  $Q_1$  (Hình 6-2).

Trường hợp này trong thiết kế thường tính với mực nước thượng lưu cao nhất và cắt tải lớn nhất (thường là cắt toàn bộ công suất lớn nhất của nhà máy) để xác định mực nước cao nhất của tháp điều áp ( $Z_{\max}$ ).

#### 2. Trường hợp tăng tải

Khi lưu lượng qua tuốc bin tăng đột ngột mực nước trong tháp hạ xuống đến trị số  $Z_{\min}$  và cũng dao động theo chu kỳ và tắt dần ngược lại với trường hợp trên.

Trong thiết kế thường tính với mực nước thấp nhất ở thượng lưu và mức tăng tải lớn nhất có thể xảy ra trong vận hành để xác định mực nước thấp nhất của tháp ( $Z_{\min}$ ).

#### 6.1.4. Các kiểu tháp điều áp

Chọn kiểu tháp điều áp phải xuất phát từ các nguyên tắc sau:

- Giá thành công trình thấp nhất
- Bảo đảm các tổ máy làm việc ổn định
- Triệt tiêu dao động nhanh.

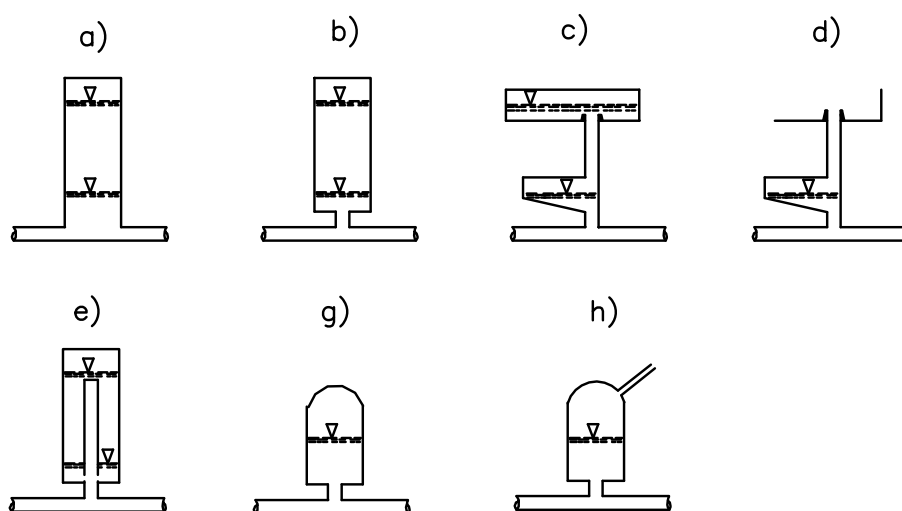
Theo hình dạng cấu tạo thường gặp các kiểu tháp sau:

##### 1. Tháp điều áp kiểu viên trụ ( hình 6-3a).

TĐA kiểu viên trụ là một giếng đứng hoặc nghiêng có tiết diện không thay đổi. Kiểu này có kết cấu đơn giản, dễ thi công. Trong tính toán thiết kế cũng đơn giản. Nhưng có nhược điểm cơ bản nhất là ở chế độ ổn định khi dòng chảy qua tháp tổn thất thủy lực cục bộ ở chỗ nối tiếp đường hầm và đường ống với tháp có thể lớn, đồng thời dung tích tháp lớn, thời gian dao động kéo dài. Tháp điều áp viên trụ được ứng dụng ở các TTĐ cột nước thấp, mực nước thượng lưu ít thay đổi.

##### 2. Tháp điều áp kiểu viên trụ có màng cản ( hình 6-3b).

Thực chất là tháp điều áp kiểu viên trụ, nhưng có đặt một màng cản ở đáy tháp để tăng thêm tổn thất thủy lực khi dòng chảy vào và ra khỏi tháp. Màng cản có thể



**Hình 6-3. Các kiểu tháp điều áp**

*a - kiểu viên trụ; b - kiểu viên trụ có màng cản; c - kiểu hai ngăn; d - kiểu có máng tràn; e - kiểu có lỗ trong; g - kiểu nén khí; h- kiểu nửa nén khí*

dưới dạng lỗ cản hoặc lưới cản ....làm tăng tổn thất thủy lực khi nước chảy qua nó và do đó giảm được biên độ dao động đưa đến giảm được dung tích tháp và làm cho dao động mực nước trong tháp tắt nhanh. Ngoài ra so với TĐA viên trụ nó

còn giảm được tổn thất thủy lực của dòng ổn định khi qua vị trí đặt tháp. Nó được ứng dụng ở các TTD cột nước trung bình và mực nước thượng lưu ít thay đổi.

### **3. Tháp điều áp kiểu hai ngăn** ( có ngăn trên và ngăn dưới) ( hình 6-3c).

TĐA kiểu này gồm hai ngăn và một giếng đứng, ngăn trên và ngăn dưới có tiết diện lớn hơn nhiều so với giếng đứng. Nguyên lý làm việc của nó như sau:

Khi thay đổi phụ tải , mực nước trong tháp dao động, nhưng vì tiết diện giếng đứng nhỏ, nên mực nước trong tháp thay đổi rất nhanh làm cho thời gian dao động giảm. Nhưng nếu chỉ với tiết diện giếng đứng thì biên độ dao động sẽ rất lớn, vì vậy khi mực nước trong tháp dao động đến cao độ nhất định, do tiết diện được mở rộng rất nhiều ở ngăn trên hoặc ngăn dưới nên biên độ dao động sẽ không tăng nhanh được. Như vậy tháp điều áp loại này đã giảm được thời gian dao động mà lại hạn chế được biên độ dao động mực nước trong tháp.

Với cấu tạo hợp lý như vậy, nên dung tích tháp kiểu này nhỏ hơn nhiều so với tháp điều áp kiểu viên trụ. Nhưng nó có nhược điểm là cấu tạo phức tạp, thường thích hợp với tháp ngầm trong đất.

Tháp điều áp kiểu này cũng thích hợp với trường hợp cột nước cao, mực nước hồ chứa thay đổi lớn, khi đó chỉ việc kéo dài phần giếng đứng.

### **4. Tháp điều áp kiểu có máng tràn** (hình 6-3d).

Nguyên lý làm việc tương tự như trường hợp 3, nhưng ngăn trên có đường tràn nước. Kiểu này có ưu điểm là hoàn toàn có thể khống chế mực nước cao nhất của tháp, nhưng có nhược điểm là mất một phần nước qua máng tràn.

**5. Tháp điều áp kiểu có lõi trong** (hình 6-3e). (còn gọi là kiểu kép hay kiểu sai phân )

Kiểu này gồm có giếng đứng ở trong và ngăn ngoài, ở đáy giếng đứng có các lỗ thông với ngăn ngoài, nhưng các lỗ này nhỏ, khi mực nước dao động, nước không thoát từ giếng đứng ra ngoài kịp (vì các lỗ thông nhỏ) nên thay đổi mực nước nhanh, tạo ra hiệu quả giống như kiểu 3. sau đó nước mới chảy dần qua lỗ thông để cho mực nước trong giếng và ngăn ngoài bằng nhau. ở kiểu này khi mực nước lên cao khỏi miệng giếng đứng thì tràn ra ngăn ngoài. Do đó mà khống chế được độ cao lớn nhất của mực nước tùy theo sức chứa của ngăn ngoài.

TĐA kiểu này thường được ứng dụng trong tất cả các trường hợp khi tháp để hở trên mặt đất.

### **6. Tháp điều áp kiểu nén khí** (hình 6-3g) hoặc **kiểu nửa nén khí** (hình 6-3h).

Trong TĐA kiểu nén khí, không khí trong tháp trên mặt thoáng được ngăn cách với không khí bên ngoài. Trong quá trình dao động mực nước trong tháp, áp suất không khí sẽ thay đổi theo hướng cản trở lại. Do đó khi dao động mực nước sẽ bị áp lực không khí làm cho biên độ giảm, kiểu này có thể không cần làm tháp cao và giảm nhỏ được dung tích tháp rất nhiều. Nhược điểm là trong quản lý phải bổ sung để duy trì thể tích không khí trong tháp bị hao hụt do cuốn theo nước trong

quá trình vận hành, kết cấu tháp phải bền vững chịu được áp lực thay đổi của không khí và phải rất kín để không khí không thoát ra.

TĐA kiểu nửa nén khí vừa dùng dung tích tháp vừa dùng áp lực không khí trong khi làm việc. Không khí trong tháp được nối với không khí bên ngoài bằng đường ống tiết diện nhỏ, áp lực không khí trong tháp bằng tổn thất khi không khí di chuyển trong ống nối. Và như vậy có tác dụng giảm biên độ dao động của mực nước trong tháp nhưng hiệu quả không bằng TĐA kiểu nén khí hoàn toàn. Ưu điểm là không cần bổ sung không khí trong quá trình vận hành nhưng thể tích tháp đòi hỏi lớn hơn.

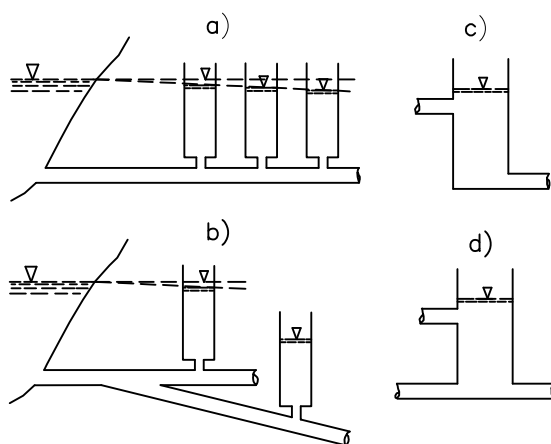
Các loại tháp điều áp kiểu nén khí thích hợp với vùng có động đất vì kích thước nhỏ nhẹ.

Ngoài cách phân loại theo hình dạng cấu tạo nói trên có khi còn phân loại theo các cách sau:

*a) Phân loại theo cách xây dựng*

- Kiểu nổi hoàn toàn: Toàn bộ tháp đặt nổi trên nền, kiểu này thường khối lượng xây dựng lớn, nên không lợi về kinh tế, nhưng dễ kiểm tra sửa chữa.

- Kiểu đặt ngầm: Toàn bộ tháp đặt ngầm dưới mặt đất, khi này thường dùng kiểu có ngăn trên là có lợi ( hoặc cả ngăn trên và ngăn dưới) vì có thể dễ dàng mở rộng thiết diện của các ngăn.



**Hình 6-4.** Các kiểu đặt tháp và cấp nước TĐA

a- Hệ thống tháp điều áp đặt nối tiếp; b- Hệ thống tháp điều áp đặt song song; c- Kiểu đường dẫn nước vào ở phía trên; d- Kiểu đường dẫn nước vào ở cả phía trên và phía dưới

- Kiểu hỗn hợp nửa chìm nửa nổi: Kiểu này thường dùng khi không đặt ngầm được hoàn toàn

*b) Phân loại theo cách đặt*

- Đặt trên đường dẫn nước vào nhà máy.

- Đặt trên đường dẫn nước từ nhà máy ra.

- Hệ thống tháp điều áp đặt nối tiếp ( h. 6-4a): Có trường hợp đặt một tháp điều áp thì biên độ sẽ quá lớn, có thể phải đặt hai hay nhiều tháp kế tiếp nhau.

- Hệ thống tháp điều áp đặt song song ( h.6-4b): Có trường hợp dẫn nước cùng một nguồn cung cấp cho hai nhà máy. Trường hợp này có thể đặt hai tháp riêng biệt trên hai nhánh đường dẫn.

*c) Phân loại theo cách cấp nước.*

- Kiểu đường dẫn nước vào ở phía trên ( hình 6-4c).

- Kiểu đường dẫn nước vào ở cả phía trên và phía dưới ( hình 6-4d).

## 6.2. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CƠ BẢN CỦA THÁP ĐIỀU ÁP

### 6.2.1. Phương trình động lực học

Xét cho trạng thái chảy không ổn định của hệ thống “ Đường hầm dẫn nước - Tháp điều áp” với đường hầm dẫn nước nằm ngang hình 6-2 ( Khi tính toán thủy lực một cách đầy đủ, cần xét sự dao động của cả khối nước gồm cả đường hầm dẫn nước, tháp điều áp và đường ống áp lực. Riêng trong đường ống áp lực cũng có dao động, nhưng tác động này ảnh hưởng không đáng kể đến sự dao động mực nước trong tháp điều áp, do đó để đơn giản ta coi toàn bộ hệ thống bao gồm khối nước tuyệt đối cứng và như vậy có thể coi sự biến thiên của lưu lượng turbin diễn ra ngay mặt cắt đầu đường ống áp lực. Từ đó khối nước dao động chỉ gồm đường hầm dẫn nước và tháp điều áp ).

Theo định luật biến thiên động lượng, hình chiếu của véc tơ biến thiên động lượng của khối nước di chuyển trong đường hầm dẫn nước trước tháp trong thời gian  $dt$  lên trục  $x$  bằng tổng hình chiếu của tất cả các ngoại lực tác dụng khối nước:

$$\frac{d(mV)_x}{dt} = \Sigma X \quad (6-3)$$

trong đó:

- Khối lượng nước trong đường hầm dẫn nước không thay đổi trong quá trình dao động:

$$m = \frac{L \cdot f \cdot \gamma}{g}$$

trong đó:  $V$  - vận tốc dòng chảy trong đường hầm dẫn nước (m/s), chiều dương hướng từ thượng lưu xuống hạ lưu.;  $f$  - tiết diện đường hầm dẫn nước ( $m^2$ );  $L$  - chiều dài đường hầm dẫn nước (m);  $\gamma$  - trọng lượng riêng của nước;  $g$  - gia tốc trọng trường ( $m/s^2$ ).

Hình chiếu véc tơ vận tốc dương lên trục  $x$  sẽ có dấu ngược lại:  $V_x = -V$ .

- Hình chiếu các ngoại lực tác dụng lên khối nước lên trục  $x$  ( $\Sigma X$ ) bao gồm:

- áp lực nước lên hai đầu khối nước:  $-\gamma f (Z - h_{th} - h_v)$  ;

trong đó:  $Z$  – Chênh lệch mực nước trong tháp điều áp (m), so với mực nước tĩnh trong hồ chứa hoặc trong bể áp lực, chiều dương hướng xuống dưới;

$h_{th} = \xi_{th} \frac{V_{th}|V_{th}|}{2g}$  - tổn thất cột nước khi nước chảy vào và ra khỏi tháp;  $\xi_{th}$  - hệ

số cản cục bộ của tháp;  $h_v = \frac{V^2}{2g}$  - cột nước lưu tốc ( $\gamma f h_v$  - áp lực thủy động);  $V_{th}$  - vận tốc dòng chảy trong TĐA(m/s), chiều dương hướng từ dưới lên trên.

- Lực ma sát và các lực cản lên khối nước khi di chuyển:  $\gamma \cdot f \cdot h_w^*$  ;

$h_w^*$  - Tổng thất cột nước trong đường hầm gồm các tổn thất cục bộ ( $h_c$ ) và tổn thất ma sát dọc đường ( $h_L$ ):  $h_w^* = h_L + h_c$

$$h_L = \lambda \frac{L}{d} \frac{V|V|}{2g} = \frac{L \cdot V|V|}{C^2 R} ; \quad h_c = \xi_c \frac{V|V|}{2g};$$

Trong đó :  $C$  - Là hệ số Sezi.

$R$  - Bán kính thủy lực của đường hầm dẫn nước

$\xi_c$  - Tổng các hệ số tổn thất cục bộ.

$\lambda$  - hệ số sức cản thủy lực dọc đường của đường hầm dẫn nước

$d$  - đường kính đường hầm

- Hình chiếu trọng lực và áp lực nước vuông góc với trục x nên bằng không ( xét trường hợp đường hầm nằm ngang).

Gọi tổng tổn thất cột nước  $h_w = h_L + h_c + h_{th} + h_v$  từ (6-3) ta có phương trình:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{g}{L} (Z - h_w) \quad (6-4)$$

### 6.2.2. Phương trình liên tục

Theo định luật liên tục của dòng chảy: lưu lượng qua tuốc bin (nghĩa là lượng nước vào đường ống áp lực) trong thời gian  $dt$ , sẽ bằng lượng nước chảy qua đường hầm dẫn nước cộng với (hoặc trừ) lượng nước từ tháp điều áp chảy ra trong cùng thời gian đó.

$$QT. dt = f.V.dt + F.dZ$$

$$\text{hoặc} \quad \frac{dZ}{dt} = \frac{Q_T - f.V}{F} \quad (6-5)$$

$Q_d$  - Lưu lượng dòng chảy trong đường hầm dẫn nước trước TĐA ( $m^3/s$ )

$Q_T$  - Lưu lượng dòng chảy vào tuốc bin ( $m^3/s$ )

$F$  - Tiết diện TĐA ( $m^2$ )

Kết hợp hai phương trình (6-4) và (6-5), thay  $h_w = \psi^* \frac{v^2}{2g}$  sẽ được một phương trình vi phân phi tuyến bậc hai.

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} - \frac{\psi^* F}{2fL} \left( \frac{dZ}{dt} \right)^2 + \frac{\psi^*}{fL} Q_T \frac{dZ}{dt} + \frac{f.g}{LF} Z - \frac{\psi^*}{2FfL} Q_T^2 - \frac{1}{F} \frac{dQ_T}{dt} = 0 \quad (6-6)$$

$$\text{Trong đó :} \quad \psi^* = \lambda \frac{L}{d} + \xi_c + \xi_{th} + 1$$

### 6.3. TÍNH TOÁN THỦY LỰC THÁP ĐIỀU ÁP BẰNG GIẢI TÍCH

#### 6.3.1. Yêu cầu tính toán

Tính toán thủy lực để xác định các trị số sau:

a- Tính toán biên độ dao động. Để từ đó chọn kích thước và hình dạng tháp điều áp sao cho dao động hợp lý nhất theo điều kiện kinh tế và kỹ thuật.

b- Tính toán mực nước cao nhất trong tháp điều áp. Phải tính với mực nước hồ lớn nhất, tổn thất thủy lực nhỏ nhất trong đường dẫn có thể xảy ra trong trường hợp đó, và giảm đột ngột toàn bộ phụ tải của nhà máy( từ lưu lượng lớn nhất đến lưu lượng bằng không).

c- Tính toán mực nước thấp nhất trong tháp điều áp phải tính với mực nước thấp nhất trong hồ chứa ( mực nước chết), tổn thất thủy lực lớn nhất trong đường hầm và có thể xảy ra trong các trường hợp tăng tải sau :

- Tăng công suất tương đương với một tổ máy, nhưng không nhỏ hơn 33% công suất toàn nhà máy, với cỡ nhà máy có công suất  $N < 30.000 \text{kw}$ .

- Tăng công suất tương đương với hai tổ máy, nhưng không nhỏ hơn 50% công suất toàn nhà máy, với cỡ nhà máy có công suất  $N > 30.000 \text{kw}$ .

- Tăng từ một công suất nhất định đến 100% công suất toàn nhà máy, hoặc với một giá trị công suất mà nhà máy tham gia vào việc điều chỉnh tần số của hệ thống mạng điện

Sau khi xác định được mực nước thấp nhất trong tháp điều áp phải kiểm tra điều kiện mép trên của ống dẫn nước vào turbine phải thấp hơn mực nước này ít nhất là 2-3 mét để tránh không khí lọt vào turbin.

d- Tính toán cho tháp điều áp ở đường thoát nước sau tổ máy, mọi điều kiện công suất, tổn thất phải chọn ngược lại với tính toán trên.

#### 6.3.2. Tháp điều áp hình trụ khi không xét tới sức cản thủy lực

Khi không xét tới sức cản thủy lực thì kết quả tính toán có thể phần nào sai khác với thực tế , song cho phép ta hình dung được toàn bộ quá trình dao động sóng trong TĐA.

Khi bỏ qua các tổn thất thủy lực và xét trong trường hợp lưu lượng qua turbin thay đổi tức thời, từ phương trình (6-6) ta có:

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} + \frac{fg}{LF} Z = 0 \quad (6-7)$$

Đây là phương trình vi phân tuyến tính bậc hai hệ số hằng, giải nó với các điều kiện ban đầu khi  $t = 0$ :

$$Z = 0; \quad F \frac{dZ}{dt} \Big|_{t=0} = Q_{th} \Big|_{t=0} = Q_{Tc} - Q_{To} = Q_{dc} - Q_{do} = \frac{f}{F} (V_c - V_o)$$



( trong đó các chỉ số “o” - tương ứng với trạng thái ổn định ban đầu; “c” - tương ứng với trạng thái ổn định cuối cùng; các ký hiệu khác là ký hiệu chung) ta có nghiệm tổng quát:

$$Z = (V_c - V_o) \sqrt{\frac{Lf}{gF}} \sin(Kt) \quad (6-8)$$

$$\text{trong đó: } K = \sqrt{\frac{gf}{LF}}$$

Rõ ràng, phương trình (6-8) thể hiện dao động sóng mực nước trong TĐA là hàm hình sin không tắt với biên độ lớn nhất :

$$Z_{\max}^o = (V_c - V_o) \sqrt{\frac{Lf}{gF}} \quad (6-9)$$

và chu kỳ dao động:

$$T = \frac{2\pi}{K} = 2\pi \sqrt{\frac{LF}{gf}} \quad (6-10)$$

### 6.3.3. Tháp điều áp hình trụ khi xét tới sức cản thủy lực.

Sức cản thủy lực trong hệ thống đường dẫn nước có áp làm giảm biên độ dao động trong TĐA và làm cho dao động tắt dần. Một phần tổn thất thủy lực cơ bản là tổn thất dọc đường  $h_L$  trong đường hầm dẫn nước trước TĐA, nó phụ thuộc vào độ nhám của đường hầm. Trong thực tế do điều kiện thi công và trong quá trình vận hành độ nhám này khác với thiết kế, do đó để đảm bảo an toàn độ nhám tính toán cần sử dụng hai giá trị : khi tính toán cho trường hợp cắt tải chọn độ nhám nhỏ nhất có thể và khi tính cho trường hợp tăng tải cần chọn độ nhám tối đa.

#### 1. Khi giảm tải

Xét trường hợp cắt tải toàn bộ từ lưu lượng từ  $Q_0$  đến  $Q_T=0$ . Vì thời gian đóng tuốc bin thường rất ngắn ( $T_s = 3 \div 5$  s) nên  $T_s$  ảnh hưởng không đáng kể đến dao động mực nước trong TĐA. Vì vậy trong tính toán để đơn giản coi  $T_s=0$ , tức là xem như đóng tức thời.

Với trường hợp đóng hoàn toàn từ  $Q_0$  đến  $Q_T=0$ , ở trạng thái ban đầu (trạng thái ổn định) mực nước trong tháp điều áp thấp hơn mực nước trong hồ chứa một trị số  $Z_o = h_{wo}$  tính theo công thức thủy lực

$$Z_o = h_{wo} = \left( \lambda \frac{L}{d} + \xi_c + 1 \right) \frac{V_o^2}{2.g} = \psi \frac{V_o^2}{2.g}$$

Với TĐA hình trụ tổn thất cột nước trong tháp có thể bỏ qua  $\xi_{th} \approx 0$  nên  $\psi^* = \psi$ , khi  $Q_T=0$  phương trình vi phân (6-6) trở thành:

$$\frac{d^2 Z}{dt^2} - \frac{\psi.F}{2.f.L} \left( \frac{dZ}{dt} \right)^2 + \frac{f.g}{L.F} Z = 0 \quad (6-6^*)$$

Để đơn giản ta đặt ký hiệu cho các hằng số:  $k_1 = \frac{\psi \cdot F}{2 \cdot f \cdot L}$ ;  $k_2 = \frac{f \cdot g}{L \cdot F}$  sẽ được nghiệm chung của phương trình (6-6\*) khi cắt tải hoàn toàn:

$$\left(\frac{dZ}{dt}\right)^2 = C_1 e^{2k_1 Z} + \frac{k_2}{k_1} \left(Z + \frac{1}{2k_1}\right) \quad (6-11)$$

Hằng số  $C_1$  có thể xác định theo điều kiện ban đầu khi:  $t = 0 \Rightarrow Z = Z_o$ ;  
 $\frac{dZ}{dt} \Big|_{t=0+0} = \frac{Q_{th}}{F} = \frac{f}{F} V_o$ . Sau đó thay  $C_1$  vào phương trình (6-11) sẽ được:

$$e^{2k_1(Z_o - Z)} = \frac{\frac{k_1}{k_2} \left(\frac{dZ}{dt}\right)^2 - Z_o - \frac{1}{2k_1}}{\frac{k_1}{k_2} \left(\frac{dZ}{dt}\right)^2 - Z - \frac{1}{2k_1}} \quad (6-11^*)$$

Mức nước dâng lên cao nhất trong tháp điều áp  $Z = Z_{max}$  khi  $dZ / dt = 0$ . Từ (6-11\*) ta có:

$$e^{2k_1(Z_o - Z_{max})} = \frac{\frac{1}{2k_1}}{Z_{max} + \frac{1}{2k_1}}$$

$$Z_o = \psi \frac{V_o^2}{2g} = \frac{k_1}{k_2} \left(\frac{dZ}{dt}\right)^2$$

Từ đây suy ra:

$$2k_1 Z_{max} - \ln(1 + 2k_1 Z_{max}) = 2k_1 Z_o \quad (6-12)$$

$$\text{hay:} \quad \frac{Z_{max}}{S} - \ln\left(1 + \frac{Z_{max}}{S}\right) = \frac{Z_o}{S} \quad (6-12^*)$$

$$\text{trong đó:} \quad S = \frac{1}{2k_1} = \frac{L \cdot f}{\psi F} = \frac{L \cdot f}{\left(\lambda \frac{L}{d} + \xi_c + 1\right) \cdot F} \quad (6-13)$$

Từ (6-12) có thể xác định biên độ lớn nhất  $Z_{max}$  tương ứng với mực nước cao nhất trong TĐA. Mực nước cao nhất trong TĐA được tính với trường hợp mực nước thượng lưu cao nhất hoặc MNDBT.

Thực tế tính toán cho thấy rằng, sức cản thủy lực trong hệ thống đường dẫn có ảnh hưởng rất lớn đến biên độ lớn nhất của dao động mực nước trong TĐA. Với đường hầm dẫn nước dài 1 km biên độ này có thể sai khác 13% so với trường hợp

không kể tới tổn thất thủy lực, còn với đường hầm dẫn nước dài 20 km sai khác có thể đến 25%

Với trường hợp này I.A.Tre-nhi-a-chin đề nghị công thức gần đúng

$$Z_{\max} = Z_{\max}^o (1 - 0,681 \varepsilon + 0,154 \varepsilon^2) \quad (6-14)$$

Trong đó:

$Z_{\max}^o$  - là mực nước dâng lên trong tháp khi bỏ qua tổn thất cột nước

trong đường hầm, tính theo công thức (6-9);  $\varepsilon = \frac{h_{wo}}{Z_{\max}^o}$

Khi  $\varepsilon = 0 \div 2$ , công thức trên (6-13) cho sai số dưới 2,3% so với cách tính chính xác.

## 2. Khi tăng tải

Khi tăng công suất trạm từ  $N_d$  đến  $N_c$ , lưu lượng sẽ phải tăng từ  $Q_d$  đến  $Q_c$ , ứng với trạng thái ổn định mới.

Trong trường hợp này, coi như mở tức thời, công thức gần đúng tính trị số mực nước hạ thấp nhất trong tháp sẽ bằng:

$$Z_{\min} = Z_{\max}^o (1 - n) \left\{ 1 + 0,156 \frac{1 + 2n}{2 + n} (1 + n) \varepsilon [1 + (1 + n) \varepsilon] \right\} + n^2 \varepsilon Z_{\max}^o \quad (6-15)$$

trong đó:  $\varepsilon = \frac{Z_c}{Z_{\max}^o} = \frac{h_{wc}}{Z_{\max}^o}$ ;  $n = \frac{Q_{To}}{Q_{Tc}}$ ;  $Z_c$  - mực nước ổn định cuối cùng;  $Q_{To}$  - lưu lượng ban đầu qua turbin;  $Q_{Tc}$  - lưu lượng ổn định cuối cùng và  $h_{wc}$  - tổn thất cột nước trong đường dẫn.  $Z_{\max}^o$  xác định theo biểu thức (6-9).

Trường hợp  $Q_d = 0$ , tăng đến  $Q_c$ , có thể dùng công thức:

$$Z_{\min} = [1 + 0,078 \varepsilon (1 + \varepsilon)] Z_{\max}^o \quad (6-16)$$

hoặc theo công thức gần đúng của Ac-ne

$$Z_{\min} = (1 + 0,1\varepsilon + 0,05\varepsilon^3) Z_{\max}^o \quad (6-17)$$

Các công thức (6-14), (6-15), và (6-16) chỉ phù hợp với trị số  $\varepsilon < 1,24$ , khi  $\varepsilon \geq 1,24$  dao động không chu kỳ và mực nước hạ thấp nhất bằng:

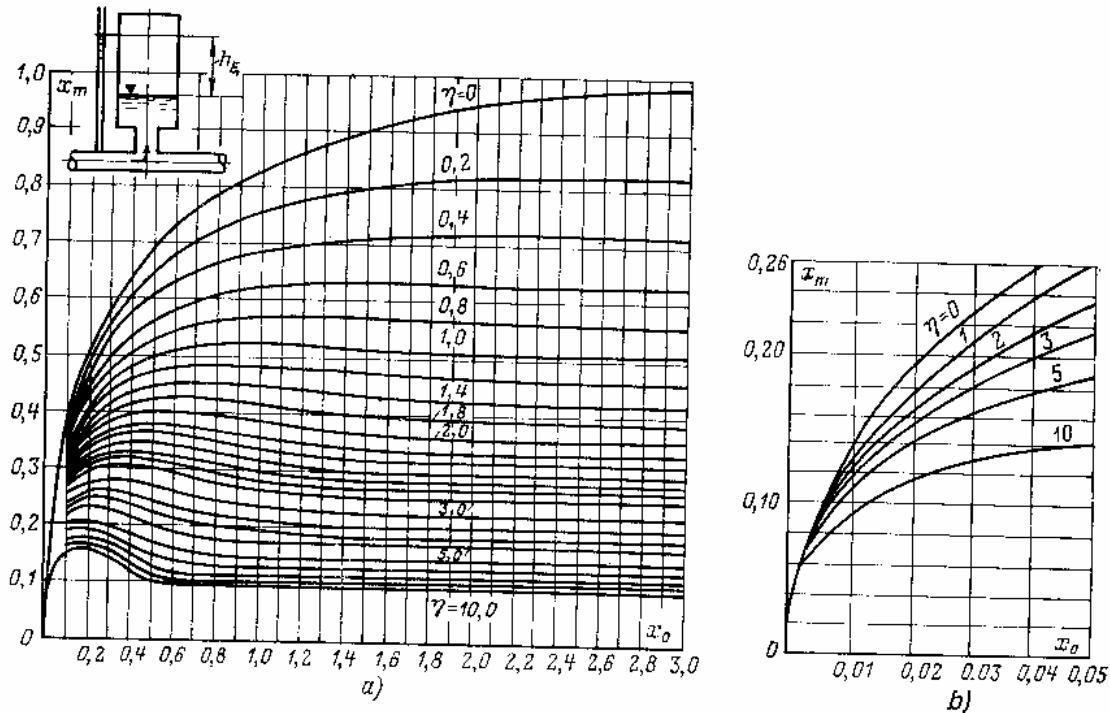
$$Z_{\min} = h_{wc}$$

### 6.3.4. Tháp điều áp có màng cản

ở trạng thái ổn định, mực nước thấp hơn mực nước ở thượng lưu một trị số :

$$Z_o = h_{wo} = \left( \lambda \frac{L}{d} + \xi_c + 1 \right) \frac{V_o^2}{2 \cdot g} = \psi \frac{V_o^2}{2 \cdot g}$$

#### 1. Trường hợp cắt tải



**Hình 6-5.** Biểu đồ xác định độ dâng cao nhất trong TĐA kiểu có màng cản khi đóng đột ngột turbin

Xét quá trình cắt tải tức thời toàn bộ từ  $Q_{T_0}$  đến  $Q_T = 0$ . Trong quá trình thay đổi lưu lượng vào turbin sẽ xuất hiện dòng chảy vào tháp điều áp, do đó xuất hiện thêm tổn thất qua màng cản của TĐA. Vậy tổn thất thủy lực toàn bộ của hệ thống:

$$h_w = h_L + h_c + h_{th} + h_v = (\psi + \xi_{th}) \frac{V^2}{2g}$$

$$\text{Đặt: } \eta = \frac{h_{th}}{Z_0} = \frac{\xi_{th}}{\lambda \frac{L}{d} + \xi_c + 1} = \frac{\xi_{th}}{\psi} \text{ và thay } \psi^* = \psi + \xi_{th} = (1 + \eta) \psi \text{ vào}$$

phương trình (6-6) và giải nó tìm giá trị cực đại ta có:

$$\ln[1 - (1 + \eta)x_{\max}] + (1 + \eta)x_{\max} = \ln[1 - (1 + \eta)\eta x_0] - (1 + \eta)x_0 \quad (6-18)$$

trong đó:  $x_{\max} = Z_{\max} / S$ ;  $x_0 = Z_0 / S$ ;  $S$  - xác định theo (6-13).

Theo (6-18) xây dựng biểu đồ xác định biên độ dâng cao nhất trong TĐA (hình 6-5). Trên biểu đồ, khi  $\eta = 0$  TĐA có màng cản trở thành TĐA hình trụ thông thường.

Cũng có thể dùng công thức Tre- ni- a- chin:

$$|x_{\max}| = 1 - 0,519\varepsilon_{th0} + 0,151\varepsilon_{th0}^2 - (0,681 - 0,027\varepsilon_{th0}^{2/3})\varepsilon_0 + (0,154 + 0,120\varepsilon_{th0}^{2/3})\varepsilon_0^2 \quad (6-19)$$

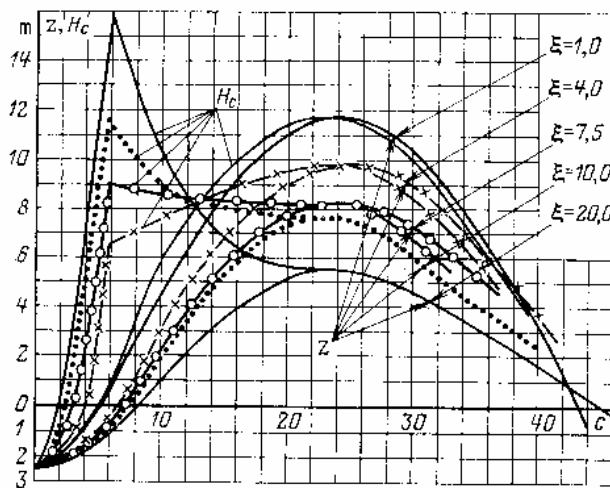
Trong đó :

$$\varepsilon_0 = \frac{Z_0}{Z_{\max}^0}; \quad \varepsilon_{th0} = \frac{h_{th0}}{Z_{\max}^0}; \quad x_{\max} = \frac{Z_{\max}}{Z_{\max}^0}$$

Một trong những đặc điểm riêng biệt của TĐA có màng cản là khả năng xuất hiện hiện tượng “sóng xô” của sóng nước va vào đường hầm dẫn nước. Khi hệ số cản của TĐA  $\xi_{th}$  lớn, trong quá trình chuyển tiếp do kết quả của hiện tượng “sóng xô” của nước va mà áp lực nước trong đường dẫn còn lớn hơn cả áp lực do mực nước dâng cao nhất trong TĐA.

Trên hình 6-6. là ví dụ về kết quả tính toán xác định  $Z_{\max}$  và  $H_c$  (áp lực ở cuối đường hầm dẫn nước). với thời gian đóng turbin  $T_s = 6$  s., qui luật thay đổi độ mở cánh hướng nước là tuyến tính. Từ đồ thị ta dễ nhận thấy rằng, khi  $\xi_{th} = 10 \div 20$ . áp lực do ”sóng xô” của nước va lớn hơn áp lực do mực nước dâng cao nhất khi cắt tải. áp lực nước trong đường dẫn do “sóng xô” đạt giá trị cực đại khi kết thúc quá trình đóng cánh hướng nước turbin.

Do vậy, ở TĐA có màng cản mực nước cao nhất trong tháp đạt được không phải trong trường hợp đóng tức thời cánh hướng nước mà trong trường hợp ứng với một  $T_s$  nào đó.



**Hình 6-6.** Sự ảnh hưởng của sức cản  $\xi_{th}$  đến  $Z_{\max}$  và áp lực nước  $H_c$  trong đường dẫn

dụng trên máy tính.

## 2. Trường hợp tăng tải

Mực nước thấp nhất xuất hiện trong quá trình tăng tải. Trường hợp tính toán thường là khi tăng tải toàn bộ một tổ máy từ lưu lượng không tải  $Q_x$  đến đầy tải  $Q_{\max}$  hoặc tăng toàn bộ các tổ máy trong phạm vi điều chỉnh bình thường ví dụ từ 50% đến 100% phụ tải với mực nước thượng lưu thấp nhất. Việc tính toán bằng giải tích trường hợp này rất phức tạp, có thể giải bài toán này bằng đồ giải hoặc sử dụng các phương pháp số ứng

### 6.3.5. Tháp điều áp kiểu có máng tràn

Trong trường hợp tháp điều áp có máng tràn, khi mực nước trong tháp dâng lên quá đỉnh máng tràn, nước sẽ tràn ra ngoài.

Khi giảm tải mực nước dâng lên cao nhất

$$Z_m = Z_T + h$$

$Z_T$  - cao trình đỉnh tràn

$h$  - chiều cao lớp nước tràn lớn nhất

Thường cao trình đỉnh tràn lấy cao hơn mực nước cao nhất trong hồ một chút.

Trị số  $h$  tìm từ công thức tính lưu lượng tràn

$$Q_T = mB\sqrt{2g} \cdot h^{1,5}$$

$m$  - hệ số lưu lượng máng tràn

$B$  - chiều rộng tuyến tràn

$Q_T$  - lưu lượng lớn nhất qua miệng tràn khi giảm tải.

### 6.3.6. Tháp điều áp hai ngăn

Tháp kiểu hai ngăn ứng dụng có lợi trong trường hợp đường dẫn dài, cột nước cao và mực nước thượng lưu thay đổi lớn. Ngăn trên có tác dụng giảm biên độ dao động khi cắt giảm tải, ngăn dưới - khi tăng tải

#### 1. Khi cắt tải toàn bộ

Thường định trước  $Z_{\max}$  từ đó tính được dung tích ngăn trên WBT theo công thức gần đúng.

$$W_{BT} = \frac{L \cdot f \cdot V_0^2}{2 \cdot g \cdot Z_0 \cdot v} \ln \left( 1 - \frac{Z_0 \cdot v}{|Z_{\max}|} \right) \quad (6-20)$$

Trong đó :  $v = 1 + \eta$  xem công thức (6-18).

Trong công thức (6.20), đã giả thiết rằng đường kính giếng đứng gần bằng đường kính đường hầm và khi cắt tải mực nước tăng nhanh đến đỉnh miệng tràn hoặc đáy ngăn trên (trong tính toán thể tích khối nước trong giếng đứng bỏ qua). Vì vậy, kiểu này tuy không có màng cản, nhưng do đường kính giếng đứng nhỏ, tổn thất ở chỗ tiếp giáp giữa tháp và đường dẫn cũng lớn không thể bỏ qua.

Để xác định dung tích buồng trên  $W_{BT}$  cần định trước một số giá trị  $Z_{\max}$  rồi chọn trên cơ sở so sánh các phương án. Giá trị  $Z_{\max}$  kinh tế thường trong khoảng  $8 \div 12$  m.

#### 2. Khi tăng tải

Tương tự trường hợp giảm tải, khi tăng lưu lượng đột ngột từ  $Q_0$  đến  $Q_c$  dung tích cần thiết của ngăn dưới xác định theo công thức:

$$W_{BD} = \frac{L f V_c^2}{2 g Z_c} \ln \left\{ \frac{x_{\min} - 1}{x_{\min} - n^2} \left[ \frac{(\sqrt{x_{\min}} + 1)(\sqrt{x_{\min}} - n)}{(\sqrt{x_{\min}} - 1)(\sqrt{x_{\min}} + n)} \right]^{\frac{1}{\sqrt{x_{\min}}}} \right\} \quad (6-21)$$

Trong đó:  $x_{\min} = Z_{\min} / Z_c$ ;  $n = QT_o / QT_c$ ;  $Z_{\min}$  - mực nước thấp nhất khi dao động;  $Z_c$  - mực nước ổn định ứng với lưu lượng cuối cùng sau khi tăng phụ tải;  $V_c$  - vận tốc dòng chảy trong đường hầm ở trạng thái ổn định sau khi tăng tải.

Từ công thức (5-21) ta thấy khi tăng  $Z_{\min}$ , dung tích buồng dưới  $W_{BD}$  giảm, khi  $Z_{\min} = Z_c$  công thức (6-21) được viết dưới dạng đơn giản (6-21\*) và mực nước trong TĐA biến đổi từ từ tắt dần không dao động:

$$W_{BD} = \frac{L f V_c^2}{2 g Z_c} \ln \frac{2}{1 + n} \quad (6-21*)$$

Để xác định thể tích buồng dưới  $W_{BD}$  cần định trước các giá trị  $Z_{\min}$  và chọn trên cơ sở so sánh kinh tế- kỹ thuật các phương án.

### 6.3.7. Tháp điều áp kiểu có lõi trong

#### 1. Khi giảm tải

Dung tích cần thiết của ngăn ngoài, tính với trường hợp đóng turbin hoàn toàn. Tính theo công thức:

$$W = \frac{L \cdot f V_o^2}{2 \cdot g \cdot Z_o} \cdot \frac{\ln \left( 1 + \frac{1}{x_{\max} - 0,15 (x_{\max} - x_T)} \right)}{1 - \frac{0,3 + x_{\max}}{0,2 + 2 \cdot x_{\max}} \frac{s}{1 - \frac{2}{3} \sqrt{\frac{1 + x_{\max}}{1 - x_{\max}}}}} \quad (6-22)$$

Trong đó:  $x_{\max} = -Z_{\max} / Z_o$ ;  $x_T = -Z_T / Z_o$ ;  $Z_T$  - chiều cao đỉnh tràn của giếng đứng so với mực nước tĩnh của hồ;  $S = F_{gd} / F = F_{gd} / (F_{gd} + F_{ng})$ ;  $F_{gd}$  - Tiết diện giếng đứng;  $F_{ng}$  - Tiết diện ngăn ngoài.

#### 2. Khi tăng tải

Tính với tăng từ  $Q_o$  đến  $Q_c$ .

Để đảm bảo cho mực nước khỏi hạ xuống đến mức một đoạn đường dẫn trở thành không áp, tổn thất cột nước khi đóng dòng chảy đi qua các lỗ cản ở đáy giếng đứng theo hướng từ ngăn ngoài vào đường ống áp lực phải thỏa mãn điều kiện:

$$\frac{h_{th \max}}{Z_c} = \frac{x_{\min} - q_1^2}{(1 - q_1)^2}$$

Trong đó:

$$q_1 = Q_o / Q_c$$

Trị số hạ thấp mực nước tương đối  $x_n = Z_n / h_{\omega o}$  tính theo công thức:

$$x_{\min} = 1 + \left( \sqrt{0,5E' - 0,275\sqrt{q_1}} + \frac{0,1}{E'} - 0,9 \right) \left[ 1 - \frac{q_1}{(0,5E')^{0,62}} \right] \quad (6-23)$$

Trong đó:

$$E' = \frac{L.f. \frac{V_0^2}{g} F.Z_c^2}{1 - \frac{3}{2}S}$$

## 6.4. TÍNH TOÁN THỦY LỰC THÁP ĐIỀU ÁP BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐỒ GIẢI

### 6.4.1. Phương pháp chung

Nội dung của phương pháp này là dùng đồ thị để giải hệ phương trình vi phân cơ bản của dòng chảy không ổn định trong TĐA nói trên.

Trước hết viết hệ phương trình (6-4) và (6-5) dưới dạng sai phân:

$$\Delta V = \frac{g \cdot \Delta t}{L} (Z - h_w) \quad (6-24)$$

$$\Delta Z = \frac{Q_T - fV}{F} \Delta t \quad (6-25)$$

Khi tính toán, chọn một thời đoạn  $\Delta t$  nhất định, chọn  $\Delta t$  càng nhỏ thì kết quả càng chính xác hơn, nhưng khối lượng tính toán càng tăng. Thông thường chọn  $\Delta t$  sao cho số điểm tính toán đủ để vẽ tương đối chính xác đường cong  $Z=Z(t)$ , Để làm được điều đó trong khoảng  $1/4$  chu kỳ  $T$  chọn khoảng  $8 \div 10$  điểm và thực tế thường chọn  $\Delta t = 5 \div 20$  s.

### 6.4.2. Tháp điều áp hình trụ

#### 1. Khi giảm tải ( hình 6-7)

Với trường hợp giảm toàn bộ và đột ngột phụ tải. Như vậy ngay từ lúc bắt đầu tính toán, lưu lượng qua tuốc-bin  $Q = 0$ . Phương trình (6-25) thành ra:

$$\Delta Z = -\frac{f \cdot \Delta t}{F} V \quad (6-26)$$

Tổn thất cột nước viết thành:

$$h_w = \left( \lambda \frac{L}{d} + \xi_c + 1 \right) \frac{V^2}{2 \cdot g} = k V^2 \quad (6-27)$$

Trên biểu đồ trục tung biểu thị cao trình mực nước trong tháp  $Z$ , lấy gốc là cao trình mực nước tính ở thượng lưu, chiều dương hướng xuống.

Trục hoành biểu thị vận tốc dòng chảy trong đường hầm dẫn nước  $V$ , chiều dương từ thượng lưu xuống tháp.

Các bước tiến hành như sau:

- Vẽ đường quan hệ giữa tổn thất thủy lực với vận tốc dòng chảy trong đường hầm  $h_w = f(v)$  theo phương trình (6-27) ( đường cong 3 )



- Vẽ đường quan hệ  $\Delta Z = f(V)$  theo phương trình ( 6-26 ) ( đường thẳng 2)
- Vẽ đường quan hệ  $\Delta V = f(Z - h_w)$  theo phương trình (6-25),( đường thẳng 1)

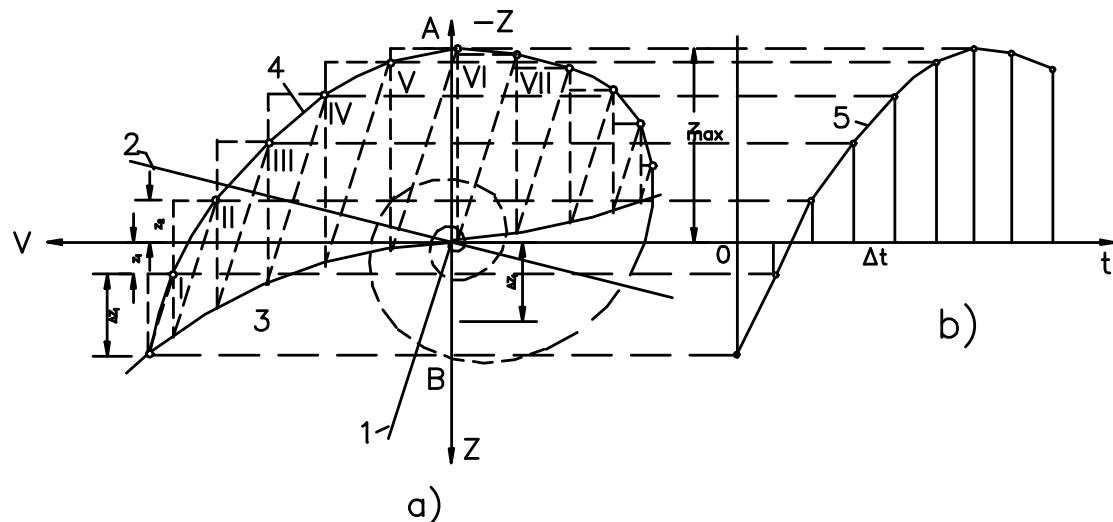
Giả thiết rằng trong suốt thời đoạn  $\Delta t$ , vận tốc dòng chảy trong đường hầm dẫn nước không thay đổi và bằng trị số vận tốc ở đầu thời đoạn.

- Xác định tọa độ điểm ban đầu, điểm 0 ( $V_0, Z_0$ ): Từ vận tốc ban đầu  $V_0$  trên đường  $h_w = f(v)$  (đường 3) xác định vị trí ban đầu

- Xác định tọa độ điểm I ( $V_1, Z_1$ ): sau thời đoạn  $\Delta t_1$  :

Từ điểm 0 với lưu tốc đầu thời đoạn  $V_0$  trên đường  $\Delta Z = f(V)$  xác định  $\Delta Z_1$  và  $Z_1 = Z_0 + \Delta Z_1$  sau thời đoạn  $\Delta t_1$  (đường 2). Dùng đường  $\Delta V = f(Z - h_w)$  (đường 1) và từ trị số  $|Z_1 - h_{w0}|$  xác định  $\Delta V_1$ . Với trị số  $Z_1$  và  $V_1 = V_0 + \Delta V_1$  sẽ tìm được điểm I, biểu thị trạng thái chế độ không ổn định ở cuối thời đoạn  $\Delta t_1$ . Lưu ý là trong trường hợp này  $\Delta V_1$  và  $\Delta Z_1$  mang giá trị âm.

( Để xác định tọa độ điểm I đơn thuần bằng đồ giải ta có thể bằng cách tính



**Hình 6-7.** Phương pháp đồ giải xác định dao động mực nước trong tháp điều áp khi cắt tải toàn bộ và đột ngột.

$$1- \Delta V = \frac{g \Delta t}{L} (Z - h_w); 2- \Delta Z = - \frac{f \Delta t}{F} V; 3- h_w = kV^2; 4- Z = f(V); 5- Z = f(t)$$

tiến đường 1 đến điểm 0 và giao điểm của nó với đường  $Z = Z_1$  là tọa độ điểm I )

- Tương tự như vậy xác định tọa độ điểm II ( $V_2, Z_2$ ) sau thời đoạn  $\Delta t_2$  bằng cách tương ứng  $V_1$  trên đường 2 xác định  $\Delta Z_2$ ,  $Z_2 = Z_1 + \Delta Z_2$ ; từ đường 1 với  $|Z_2 - h_{w1}|$  xác định  $\Delta V_2$  và  $V_2 = V_1 + \Delta V_2$ . Cứ như vậy xác định các điểm tiếp theo III, IV ....

( Để xác định tọa độ điểm I đơn thuần bằng đồ giải ta có thể bằng cách tịnh tiến đường 1 đến giao điểm của đường cong 3 và đường thẳng đứng  $V = V_1$ , đường tịnh tiến này cắt đường thẳng ngang  $Z = Z_2$  tại điểm II là tọa độ cần tìm. Và cứ thế tiếp tục cho các điểm tiếp theo)

- Vẽ đường cong  $Z = f(V)$  (đường 4) bằng cách nối các điểm 0, I, II, III ... lại với nhau.

Điểm đường cong này cắt trục  $Z$  ứng với mực nước cao nhất trong tháp điều áp  $Z_{\max}$  (điểm A) và  $V=0$ , sau đó  $V$  đổi chiều. Tiếp theo đường cong lại cắt trục  $Z$  khi  $V = 0$  (điểm B), ứng với mực nước thấp nhất trong tháp điều áp khi cắt tải toàn bộ. Đường  $Z=f(V)$  có dạng đường xoắn ốc thu về điểm 0.

- Vẽ khai triển đường  $Z=f(V)$  ra dạng  $Z = f(t)$  (đường cong 5)

Khi giảm đột ngột một phần phụ tải từ  $Q_0$  đến  $Q_2$ .

Phương trình (6-25) viết thành :

$$\Delta Z = \frac{\Delta t}{F} (Q_2 - fV)$$

Trên đồ thị đường (2) dịch vị trí về phía trái một trị số  $V_2 = Q_2 / f$ . Đường xoắn ốc  $Z=f(w)$  sẽ kết thúc ở điểm C, ứng với trạng thái chảy ổn định mới khi lưu lượng tuốc bin bằng  $Q_2$ .

## 2. Khi tăng tải

Xét trường hợp tăng đột ngột từ  $Q_0$  đến  $Q_c$ . phương trình (6-24) vẫn giữ dạng trên (đường 1 và 3 trên hình 6-8), còn (6-25) viết thành :

$$\Delta Z = \frac{(Q_c - f \cdot V)}{F} \Delta t$$

(6-28)

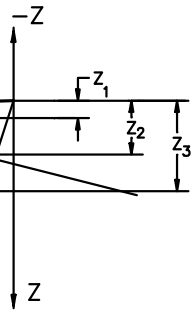
Đường  $\Delta Z = f(V)$  theo phương trình (6-28) sẽ đi qua điểm  $V_c = Q_c / f$ .

Xuất phát từ điểm 0 ứng với  $V_0 = Q_0 / f$ , sau thời đoạn  $\Delta t_1$ , mực nước hạ xuống  $\Delta Z_1$  xác định theo đường 2 [ $\Delta Z_1 = f(V_0)$ ] và  $Z_1 = Z_0 + \Delta Z_1$ . Từ hiệu số  $Z_1 - h_{w0}$  xác định được  $\Delta V_1 = f(Z_1 - h_{w0})$  và  $V_1 = V_0 + \Delta V_1$ . Như vậy, xác định điểm I của đường  $Z=f(V)$ . Tương tự, xác định cho các điểm II, III... tiếp theo. Khi đường cong đi qua điểm tương ứng với  $V = V_2$  sẽ có điểm thấp nhất.

Sau đó vận tốc dòng chảy trong đường hầm dẫn nước tiếp tục tăng, lưu lượng vượt qua lưu lượng cần thiết, do đó mực nước trong TĐA tăng. Đến một trị số nhất định vận tốc bắt đầu giảm. Cuối cùng đường  $Z=f(V)$  thu về điểm VII, ứng với trạng thái ổn định mới ( $Q_T = Q_c$ ).

### 6.4.3. Tháp điều áp có màng cản

#### 1. Khi giảm tải (hình 6-9a)



**Hình 6-8 : Phương pháp đồ giải tính mực nước**  
 1- trong TĐA hình trụ khi tăng tải đột ngột;  
 $\Delta V = \frac{S \Delta Z}{L} (Z - h_w)$ ; 2-  $\Delta Z = -\frac{\Delta t}{F} (Q_c - fV)$ ;  
 3-  $h_w = kV^2$ ; 4-  $Z = f(V)$ ;

Xét trường thay đổi lưu lượng từ  $Q_0$  đến  $Q_T = 0$ . Cách vẽ đường  $Z=f(V)$  cũng giống như ở TĐA kiểu hình trụ, nhưng chú ý rằng mực nước ban đầu trong tháp điều áp :

$$Z_0 = \left( \lambda \frac{L}{d} + \zeta + 1 \right) \frac{V_0^2}{2 \cdot g} = \psi \frac{V_0^2}{2 \cdot g} \quad (6-29)$$

Sau khi ngắt phụ tải, toàn bộ lưu lượng sẽ chảy vào tháp điều áp. Do đó tại màng cản sẽ hình thành chênh lệch cột nước :

$$h_{\xi 0} = \xi_{th} \frac{V_0^2}{2g}$$

Vậy tổng tổn thất cột nước khi dao động là

$$h_w = (\psi + \xi_{th}) \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (6-30)$$

Về nguyên lý, trường hợp này cũng hoàn toàn tương tự như ở TĐA không có màng cản, điểm khác biệt ở đây là thời điểm ban đầu khi  $t = 0$  mực nước trong TĐA tính theo (6-29) nhưng ngay sau khi cắt tải  $t=0+0$  tổn thất của hệ thống tính theo (6-30) nên để xác định điểm I giá trị  $h_{w0}$  trong biểu thức  $\Delta V_1 = f(Z_1 - h_{w0})$  được xác định theo (6-30).

## 2. Khi tăng tải ( hình 6-9b)

Khi lưu lượng thay đổi đột ngột từ  $Q_0$  đến  $Q_c$ , chênh lệch cột nước ở màng cản, khi dòng chảy giảm dần là:

$$h_{th} = \xi_{th} \frac{(V_c - V)^2}{2g}$$

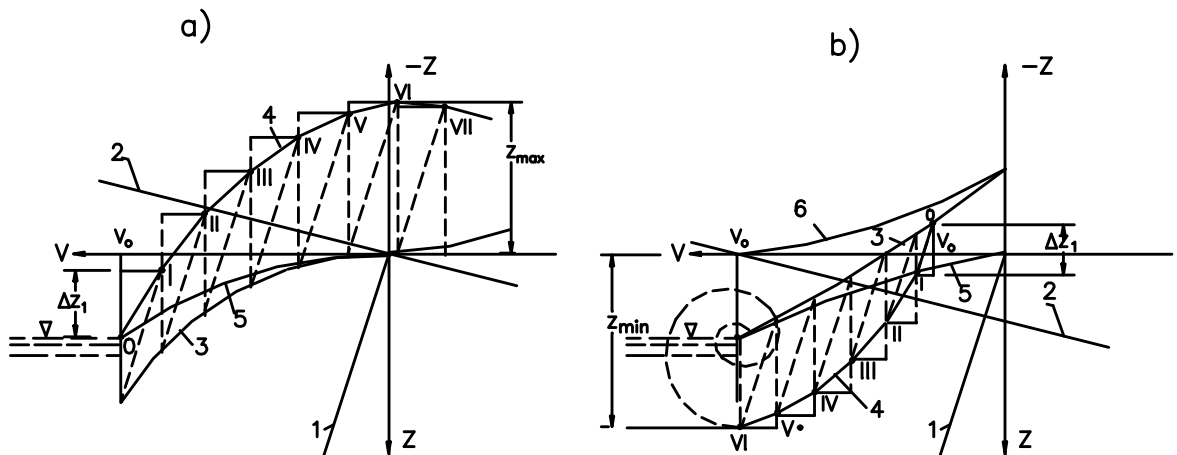
Trong đó :  $V_c = \frac{Q_c}{f}$

Hệ số  $\xi_{th}$  khi dòng chảy vào và ra khỏi tháp điều áp có thể khác nhau tùy theo dạng miệng lỗ qua nước của màng cản.

Thay đổi mực nước trong TĐA sau mỗi thời đoạn  $\Delta t$  xác định theo biểu thức:

$$\Delta Z = \frac{(Q_c - f \cdot V)}{F} \Delta t$$

Vẽ đường  $Z=f(V)$  bắt đầu từ điểm I trên đường cong  $h_w=f(V)$  tương ứng với trạng thái ban đầu của dòng chảy.



**Hình 6-9.** Phương pháp đồ giải tính dao động mực nước trong TĐA có màng cản

a- khi giảm tải đột ngột. b- khi tăng tải đột ngột.

1-  $\Delta V = F_1(Z - h_w)$ ; 2-  $\Delta Z = F_2(V)$ ; 3-  $h_w$ ; 4-  $Z = f(V)$ ; 5-  $h_w^*$ ; 6-  $h_{th}$ .

#### 6.4.4. Tháp điều áp hai ngăn

##### 1. Tính toán ngăn trên (6-10a)

Tính toán xác định kích thước buồng trên TĐA trên cơ sở tính toán cho trường hợp cắt tải toàn bộ tổ máy TĐ.

Xét sơ đồ tháp có miệng tràn ở ngăn trên (hình 6-3c), khi giảm phụ tải và thay đổi lưu lượng turbine đột ngột từ  $Q_0$  đến  $Q=0$ .

Các phương trình tính toán bao gồm:

- Phương trình động lượng (6-24) trong đó  $h_w$  kể đến cả tổn thất ở màng cản  $h_{th}$
- Phương trình liên tục thể hiện qua lượng nước vào tháp điều áp dưới dạng:

$$\Delta W = f.V. \Delta t' \quad (6-31)$$

Trong đó :  $\Delta W$ - thể tích nước chảy vào TĐA sau thời đoạn  $\Delta t$

Khi mực nước trong phần giếng đứng  $\Delta Z_g$  sau thời đoạn  $\Delta t$  theo công thức:

$$\Delta Z = - \frac{f.V}{F} \Delta t' \quad (6-32)$$

Vì mực nước dâng lên trong giếng đứng tương đối nhanh, nên thời đoạn tính toán  $\Delta t''$  trong các phương trình khi mực nước trong tháp đang ở vào đoạn giếng đứng lấy nhỏ hơn thời đoạn tính toán  $\Delta t'$  ở ngăn trên khi nước chảy qua tràn.

Khi mực nước dâng lên đến đỉnh tràn ở miệng trên giếng đứng thì bắt đầu tràn vào ngăn trên. Chiều cao lớp nước tràn xác định từ phương trình :

$$f.V = \pi.D.\mu.h_{tr} \sqrt{2.g.h_{tr}}$$

Từ đó : 
$$h_{tr} = \sqrt[3]{\frac{f^2 V^2}{2 g \pi^2 D^2 \mu^2}} \quad (6-33)$$

Trong đó : D - Đường kính miệng tràn, thường lấy bằng đường kính giếng đứng

$\mu$  - Hệ số lưu lượng của miệng tràn .

Để tính toán bằng đồ giải cần phải xây dựng các đường phụ trợ :

- Đồ thị đường tổn thất cột nước kể cả tổn thất qua tháp.

$$h_w = h_w^* + h_{th} = k \frac{v^2}{2g}$$

- Đường quan hệ :  $\Delta V = f(Z - h_w)$  với hai thời đoạn tính toán  $\Delta t'$  và  $\Delta t''$ .

- Đường quan hệ :  $\Delta W = f(V)$  theo (6-31) với thời đoạn tính toán  $\Delta t'$ .

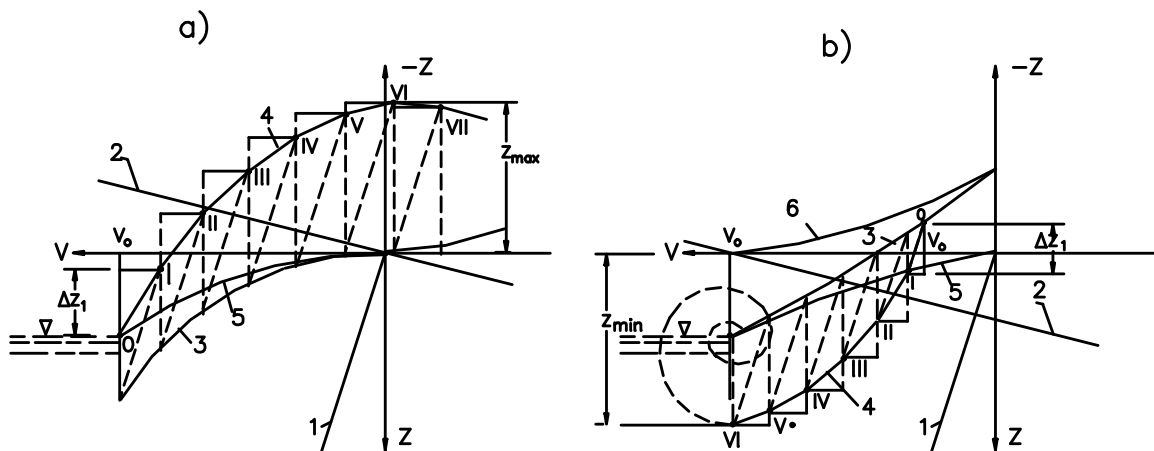
- Đường quan hệ :  $\Delta Z = f(V)$  theo (6-32) với thời đoạn tính toán  $\Delta t''$ .

- Đường quan hệ :  $h_{tr} = f(V)$  theo (6-33).

ở trạng thái ổn định trước khi giảm tải mực nước ở vị trí  $Z_0$ , sau thời đoạn  $\Delta t$  mực nước dâng lên một đoạn  $\Delta Z_1$ . Cách vẽ giống như ở tháp điều áp hình trụ.

Tới giao điểm với đường  $h_{tr} = f(V)$ , đường  $Z = f(V)$  bắt đầu đi theo đường  $h_{tr}$ .

Tính toán lượng nước chảy vào ngăn trên trong mỗi thời đoạn bắt đầu từ giao điểm IV sẽ tính theo  $\Sigma W_i$  trung bình trong thời đoạn.



**Hình 6-10.** Phương pháp đồ giải tính dao động mực nước trong TĐA hai ngăn

a- khi giảm tải đột ngột và toàn bộ. b- khi tăng tải đột ngột

1-  $\Delta V = F_1(Z - h_w)$ ; 2-  $\Delta Z = F_2(V)$ ; 3-  $h_w$ ; 4-  $Z = f(V)$ ; 5-  $h_w^*$ ; 1\*, 2\* - với  $\Delta t_2 < \Delta t_1$

## 2. Tính toán ngăn dưới ( hình 6-10b)

Kích thước buồng dưới được xác định khi tính toán tăng tải tổ máy TĐ. Trường hợp tăng tải đột ngột, tương ứng với sự thay đổi lưu lượng từ  $Q_0$  đến  $Q_c$ .

Thể tích nước đã chảy từ tháp điều áp ra đường hầm dẫn nước sau mỗi thời đoạn  $\Delta t$ .

$$\Delta W = (Q_c - f \cdot V) \Delta t \quad (6-34)$$

Thể tích của tháp biến đổi theo mực nước trong tháp :

- Trong đoạn giếng :

$$W_g = F_g Z \quad \text{khi} \quad Z \leq Z_1 \quad (6-35)$$

- Trong đoạn buồng dưới :

$$W_{BD} = F Z \quad \text{khi} \quad Z > Z_1 \quad (6-35^*)$$

Vẽ các đường quan hệ phụ trợ :  $h_w = f(V)$ ,  $\Delta V = f(Z - h_w)$ ,  $\Delta W = f(V)$  theo (6-34) và đường quan hệ :  $W = f(Z)$  theo (6-35), (6-35\*).

Từ điểm I tương ứng với chế độ ban đầu xác định  $\Delta W_1 = f(V_0)$ , đặt nó lên đường  $W = f(Z)$  từ điểm A ban đầu xác định được  $Z_1$  và từ  $Z_1 - h_{w0}$  xác định  $\Delta V_1 = f(Z_1 - h_{w0})$  và có  $V_1 = V_0 + \Delta V_1$ . Toạ độ điểm II tương ứng  $V_1, Z_1$  [ trên đồ thị bằng cách tịnh tiến đường  $\Delta V = f(Z - h_w)$  đến điểm I trên đường  $h_w = f(V)$ , giao điểm của nó với đường  $Z = Z_1$  chiếu từ đường  $W = f(Z)$  xác định điểm II ]. Tương tự như vậy cho các điểm tiếp theo.

## 6.5. PHƯƠNG PHÁP SAI PHÂN HỮU HẠN VÀ ỨNG DỤNG TIN HỌC GIẢI CÁC BÀI TOÁN CHẾ ĐỘ KHÔNG ỔN ĐỊNH TRONG THÁP ĐIỀU ÁP

Các phương pháp giải tích và phương pháp đồ giải được ứng dụng để tính dao động mực nước trong tháp điều áp thường chỉ áp dụng được đối với các trường hợp đơn giản của tháp điều áp khi cho quá trình thay đổi lưu lượng qua tổ máy thủy điện là tức thời và đơn giản hoá kết cấu của toàn bộ hệ thống đường dẫn nước của trạm thủy điện. Kết quả của các phương pháp kể trên chỉ là gần đúng, chúng không giải quyết được các bài toán về hệ thống với tổ hợp các kết cấu phức tạp và tổ hợp vận hành trạm thủy điện.

Các phương pháp sai phân : Ôle, Ôle- Côsi hoặc Runge -Kutta ...là các phương pháp có thể ứng dụng để giải quyết các bài toán về các chế độ không ổn định thủy lực trong các hệ thống đường dẫn nước của TTĐ có tháp điều áp. Sau đây sẽ trình bày một số phương pháp sai phân đơn giản ứng dụng cho tháp điều áp.

### 6.5.1. Các phương trình cơ bản

Để tiện lợi trong tính toán các phương trình ( 6-3) và (6-5) được viết dưới dạng sau:

$$\frac{dQ_d}{dt} = \frac{gf}{L} (Z - h_w) \quad (6-3^*)$$

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{Q_T - Q_d}{F} \quad (6-5^*)$$

trong đó :  $Q_d$ ,  $L$ ,  $f$  - tương ứng là lưu lượng, chiều dài, diện tích tiết diện của đường dẫn.

Z - toạ độ mực nước trong tháp điều áp lấy mực nước hồ chứa làm toạ độ gốc chiều dương xuống dưới.

$h_w$  - tổn thất cột nước trong hệ thống đường dẫn và tháp điều áp:

$$h_w = h_L + h_c + h_{th} + h_v$$

$Q_T$  - lưu lượng nước qua turbin.

F - diện tích tiết diện của tháp điều áp tương ứng khi ở mực nước Z.

t - biến thời gian

Do gia tốc của khối nước trong hệ thống đường dẫn và tháp điều áp không lớn trong các quá trình chuyển tiếp nên trong tính toán tổn thất cột nước  $h_w$  có thể theo qui luật của dòng chảy ổn định. Giá trị của các tổn thất phụ thuộc vào hướng và độ lớn của vận tốc trong các thành phần của hệ thống ở mỗi thời điểm tính toán.

Tổn thất cột nước trong đường hầm gồm các tổn thất cục bộ ( $h_c$ ) và tổn thất ma sát dọc đường ( $h_L$ ):  $h_w^* = h_L + h_c$

$$h_w^* = \left( \frac{L}{C^2 R} + \frac{\xi_c}{2g} \right) V|V| = \frac{1}{f^2} \left( \frac{L}{C^2 R} + \frac{\xi_c}{2g} \right) Q_d |Q_d| = K_d Q_d |Q_d|$$

Tổn thất cột nước khi nước chảy vào và ra khỏi tháp

$$h_{th} = \frac{\xi_{th}}{2gf^2} (Q_d - Q_T) |(Q_d - Q_T)| = K_{th} (Q_d - Q_T) |(Q_d - Q_T)|$$

$$\text{Cột nước lưu tốc } h_v = \frac{V^2}{2g} = \frac{Q_d^2}{2gf^2}$$

áp lực nước dưới đáy tháp :  $P = Z + h_{th}$

Lưu lượng qua turbin  $Q_T$  phụ thuộc chế độ của quá trình chuyển tiếp và đặc tính của từng loại turbin do đó cũng là biến thời gian t. Như vậy, các hàm  $Q_d$  và Z trong hệ phương trình (6-4\*) và (6-5\*) đều là biến thời gian t, các vế phải của hệ phương trình vi phân có thể biểu diễn dưới dạng hàm với biến số thời gian sau :

$$\frac{dQ_d}{dt} = F_1(Z, Q_d, t) \quad (6-36)$$

$$\frac{dZ}{dt} = F_2(Z, Q_d, t) \quad (6-37)$$

Nếu viết dưới dạng sai phân hữu hạn:

$$\Delta Q_d = \Delta t \cdot F_1(Z, Q_d, t) \quad (6-36^*)$$

$$\Delta Z = \Delta t \cdot F_2(Z, Q_d, t) \quad (6-37^*)$$

### 6.5.2. Phương pháp sai phân hữu hạn Ô le.

Trong các phương pháp sai phân vấn đề chủ yếu là xác định đúng giá trị của nghiệm tại từng thời điểm tính toán. Khác nhau giữa các phương pháp tính toán là tốc độ hội tụ của nghiệm.

Với phương pháp Ô le , các phương trình (6-36) và (6-37) thể hiện dưới dạng sau:

$$Q_{d,i+1}^{k+1} = Q_{d,i+1}^k + \Delta t.F_1(Z_{i+1}^k, Q_{d,i+1}^k, t_{i+1}) \quad (6-38)$$

$$Z_{d,i+1}^{k+1} = Z_{d,i+1}^k + \Delta t.F_2(Z_{i+1}^k, Q_{d,i+1}^k, t_{i+1}) \quad (6-39)$$

$$Q_{d,i+1}^0 = Q_{d,i} + \Delta t.F_1(Z_i, Q_{d,i}, t_i) \quad (6-40)$$

$$Z_{d,i+1}^0 = Z_{d,i} + \Delta t.F_2(Z_i, Q_{d,i}, t_i) \quad (6-41)$$

trong đó : Các chỉ số i - thời điểm tính toán; k- chỉ số bước lặp.

Nghiệm gần đúng phải thỏa mãn :

$$\left| \frac{Q_{d,i+1}^{k+1} - Q_{d,i+1}^k}{Q_{d,i+1}^{k+1}} \right| \leq \varepsilon_1 \quad (6-42)$$

$$\left| \frac{Z_{i+1}^{k+1} - Z_{i+1}^k}{Z_{i+1}^{k+1}} \right| \leq \varepsilon_2 \quad (6-43)$$

trong đó :  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  - các sai số cho phép

Với các giá trị ban đầu  $Q_{d0}$  và  $Z_0$  khi  $t_0 = 0$  xác định lần lượt ở các bước tiếp theo cho cả quá trình chuyển tiếp.

Nhược điểm của phương pháp này là tốc độ hội tụ chậm.

### 6.5.3. Phương pháp sai phân hữu hạn Ô le - Côsi

Sử dụng phương pháp sai phân Ô le - Côsi, nghiệm của hệ phương trình (6-36) và (6-37) được biểu diễn dưới dạng sau:

$$Q_{d,i+1}^{k+1} = Q_{d,i} + (t_{i+1} - t_i) \frac{F_1(Z_i, Q_{d,i}, t_i) + F_1(Z_{i+1}^k, Q_{d,i+1}^k, t_{i+1})}{2} \quad (6-38^*)$$

$$Z_{d,i+1}^{k+1} = Z_{d,i} + (t_{i+1} - t_i) \frac{F_2(Z_i, Q_{d,i}, t_i) + F_2(Z_{i+1}^k, Q_{d,i+1}^k, t_{i+1})}{2} \quad (6-39^*)$$

$$Q_{d,i+1}^0 = Q_{d,i} + (t_{i+1} - t_i) F_1(Z_i, Q_{d,i}, t_i) \quad (6-40^*)$$



$$Z_{d,i+1}^0 = Z_{d,i} + (t_{i+1} - t_i)F_2(Z_i, Q_{d,i}, t_i) \quad (6-41*)$$

trong đó : Các chỉ số  $i$  - thời điểm tính toán;  $k$ - chỉ số bước lặp.

Điều kiện nghiệm gần đúng lấy theo ( 6-42) và (6-43).

Do ngay trong từng bước lặp tiếp theo đã lấy các giá trị trung bình để trung hoà sai số nên tốc độ hội tụ nhanh hơn.

#### 6.5.4. Sơ đồ tính toán dao động mực nước trong TĐA

Giải bài toán về chế độ không ổn định trong TĐA bằng phương pháp sai phân hữu hạn và lập trình giải nó trên máy tính có thể tiến hành theo sơ đồ tổng quát hình (6-11):

1- Các số liệu cho trước bao gồm:

- Số liệu về đường ống :  $L$ ,  $f$ , độ nhám đồng hàm trên cơ sở đó tính  $R$ ,  $C$ , các hệ số cản cục bộ  $\xi_c$ .

- Số liệu về TĐA :  $F$  ( thay đổi theo cao trình nếu TĐA hai ngăn), hệ số cản  $\xi_{th}$ .

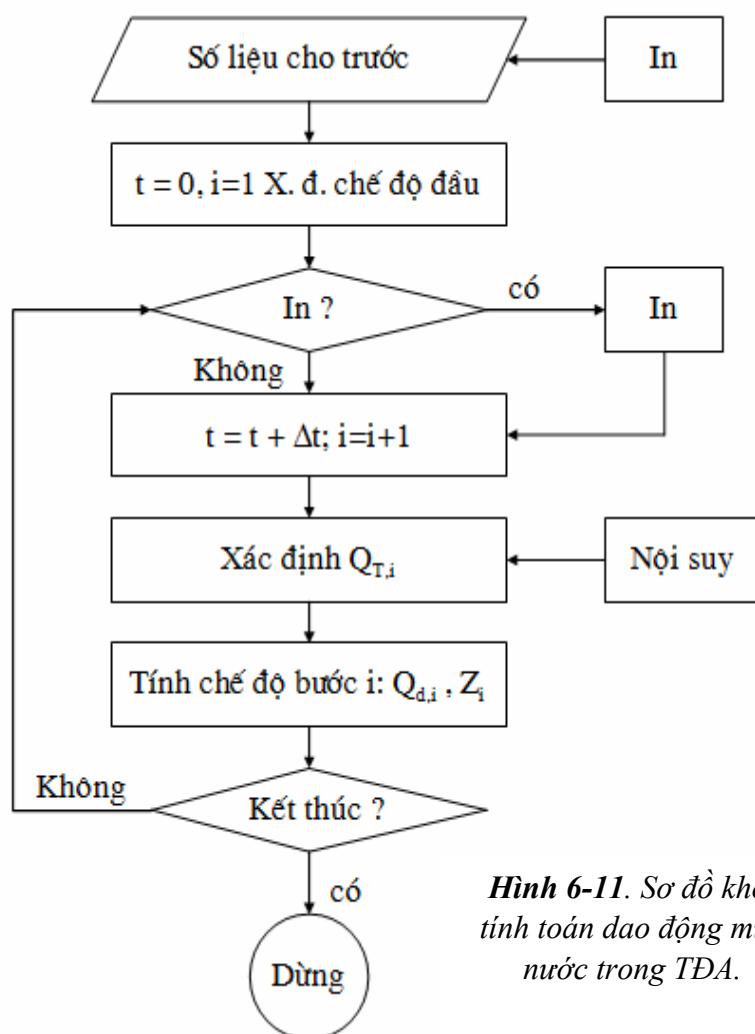
- Số liệu về chế độ điều chỉnh  $Q_T$  ( qui trình đóng mở theo thời gian).

Các số liệu cho trước và các số liệu phụ trợ sau khi tính được in vào file kết quả.

2- Xác định chế độ ban đầu khi  $t = 0$  :  $Q_{do}$ , Tổn thất thủy lực  $h_{wo}$  và  $Z_o$ . áp lực đáy tháp  $P_o$ .

3. In ? : Chế độ đầu cần

thiết phải in, nhưng do bước tính quá nhỏ nên đặc trưng các chế độ tiếp theo cần in có chọn lựa, ví dụ nếu  $\Delta t = 0,1$  s., nếu muốn in kết quả các bước theo số chẵn giây ta lập thuật toán để cứ sau 10 bước tính mới in một lần.



**Hình 6-11.** Sơ đồ khối tính toán dao động mực nước trong TĐA.

4. Thay đổi bước tính  $t = t + \Delta t$  và tương ứng  $i = i + 1$ .
5. Xác định lưu lượng qua turbin bằng phương pháp nội suy đường qui trình đóng mở.
6. Tính toán xác định chế độ bước thứ  $i$  : Bằng các phương pháp sai phân hữu hạn xác định  $Q_{di}$ ,  $Z_i$  ( theo các phương trình sai phân và phương pháp lặp).
7. Kiểm tra việc kết thúc tính toán ? . Nếu chưa kết thúc lại tiếp tục tính cho bước tiếp theo.

## 6.6. ĐIỀU KIỆN LÀM VIỆC ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG DẪN NƯỚC ÁP LỰC CÓ THÁP ĐIỀU ÁP

### 6.6.1. Khái niệm

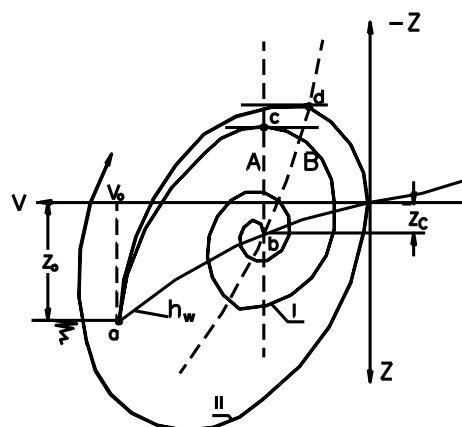
Biên độ dao động mực nước trong TĐA phụ thuộc vào trị số chênh lệch lưu lượng ban đầu và cuối quá trình điều chỉnh  $|Q_0 - Q_c|$  và tổn thất cột nước trong toàn hệ thống. Trong các tính toán đã trình bày trên, xem lưu lượng điều chỉnh cuối cùng là không đổi  $Q_c = \text{const}$  nên quá trình dao động khi kể đến tổn thất thủy lực bao giờ cũng tắt dần và lưu lượng  $Q_c$  không phụ thuộc vào biên độ  $Z$ .

Trong thực tế các tổ máy thủy điện đều làm việc với hệ thống điều chỉnh tự động, các hệ thống này luôn cố gắng đảm bảo cho công suất cuối cùng không đổi  $N = \text{const}$  nên lưu lượng cuối cùng  $Q_c$  biến đổi tương ứng với biến đổi cột nước trong quá trình, tức là phụ thuộc vào biên độ  $Z$ . Do phải đảm bảo điều kiện này mà hệ thống tự động điều chỉnh turbin có thể làm cho dao động trong hệ thống đường dẫn có TĐA không những không tắt mà biên độ dao động tăng dần. Điều này rất nguy hiểm vì có thể từ dao động nhỏ có thể dẫn đến biên độ dao động quá lớn, turbin không thể điều chỉnh được và mực nước trong TĐA có thể vượt ra khỏi phạm vi khống chế của công trình. (Trên đồ thị hình 6-12. thể hiện bằng quan hệ  $Z = f(V)$  của trường hợp dao động ổn định và không ổn định).

Để không chế không để xảy ra hiện tượng trên cần phải tính toán tiết diện của TĐA sao cho mọi dao động trong quá trình điều chỉnh phải tắt dần. Sau đây sẽ phân tích cụ thể quá trình điều chỉnh này.

### 6.6.2. Điều kiện ổn định sóng trong TĐA của TTD làm việc độc lập

Đặc điểm của TTD làm việc độc lập là sau quá trình điều chỉnh nếu có sự chênh lệch công suất do dao động cột nước  $N_t \neq N_c$  ( $N_c$  - công suất ổn định cuối



**Hình 6-12.** Đồ thị dao động trong hệ thống đường dẫn - TĐA:  
I- ổn định; II- không ổn định

cùng) máy điều tốc tự động sẽ hoạt động điều chỉnh lại ngay. Còn đối với TTĐ làm việc trong hệ thống điện, phần công suất chênh lệch này toàn bộ hệ thống sẽ đảm nhận, tổ máy chỉ đảm nhận một phần.

Giả thiết tại thời điểm  $t$  bất kỳ, mực nước trong TĐA cách mực nước ổn định là  $\Delta Z$ . Để cân bằng công suất turbin thay đổi lưu lượng  $\Delta Q_T$  tương ứng.

Từ phương trình cân bằng công suất :

$$Q_c (H_o - h_c - h_{Tc}) \eta_c = (Q_c + \Delta Q_T) (H_o - h_c - h_T - \Delta Z) \eta \quad (6-44)$$

Trong đó : -  $H_o$  - cột nước tĩnh;

- $h_c$  ,  $h_{Tc}$  - tổn thất cột nước ứng với lưu lượng ổn định cuối cùng  $Q_c$  trong đường hầm trước TĐA và trong ống dẫn nước turbin sau TĐA;
- $h_T$  - tổn thất cột nước ứng với lưu lượng ổn định cuối cùng  $Q_c + \Delta Q_T$  trong ống dẫn nước turbin sau TĐA;
- $\eta_c$  ,  $\eta$  - hiệu suất turbin ở chế độ ổn định sau điều chỉnh tương ứng  $Q_c$  và lưu lượng tại thời điểm tính toán  $Q_c + \Delta Q_T$ .

Với giả thiết TĐA hình trụ và bỏ qua sự biến đổi của hiệu suất turbin. Thay :  $h_T = k_T (Q_c + \Delta Q_T)^2 = h_{Tc} (1 + \Delta Q_T / Q_c)^2 \approx h_{Tc} (1 + 2\Delta Q_T / Q_c)$  vào (6-44) và bỏ qua vô cùng bé bậc cao (bậc hai) ta có :

$$\Delta Q = \frac{Q_c \Delta Z}{H_o - h_c - 3h_{Tc}} \quad (6-45)$$

Xét hệ phương trình (6-4), (6-5) cho TĐA hình trụ, thay  $V = V_c + \Delta V$  ;  $Z - h_c = \Delta Z$  ;  $Q_T = Q_c + \Delta Q_T$  ;  $Q_c = fV_c$  và  $h_w = k(V_c + \Delta V)^2 \approx k(V_c + 2.V_c.\Delta V) = h_c + 2kV_c \Delta V$  ta có:

$$\frac{d(\Delta V)}{dt} = \frac{g}{L} (\Delta Z - 2kV_c \Delta V) \quad (6-46)$$

$$\Delta V = \frac{1}{f} \left[ \Delta Q_T - F \frac{d(\Delta Z)}{dt} \right] \quad (6-47)$$

Thay (6-45) vào (6-47), lấy đạo hàm theo  $t$  và thay vào (6-46) với  $d(\Delta Z) = dZ$  ta có:

$$\frac{d^2(\Delta Z)}{dt^2} + m \frac{d(\Delta Z)}{dt} + p \Delta Z = 0 \quad (6-47)$$

trong đó: 
$$m = V_c \left[ \frac{2gk}{L} - \frac{f}{F(H_o - h_c - 3h_{Tc})} \right] \quad (6-48)$$

$$p = \frac{gf}{LF} \left( 1 - \frac{2h_c}{H_o - h_c - 3h_{Tc}} \right) \quad (6-49)$$

Phương trình (6-47) là phương trình vi phân tuyến tính bậc hai thuần nhất hệ số hằng với phương trình đặc trưng:

$$\beta^2 + m\beta + p = 0 \quad (6-50)$$

Khi  $p < \frac{m^2}{4}$  phương trình (6-50) có hai nghiệm thực riêng biệt  $\beta_{1,2}$  riêng biệt:

$$\beta_{1,2} = -\frac{m}{2} \pm \sqrt{\frac{m^2}{4} - p} \quad (6-51)$$

và phương trình (6-47) có nghiệm tổng quát:

$$\Delta Z = C_1 e^{\beta_1 t} + C_2 e^{\beta_2 t} \quad (6-52)$$

Từ (6-51), (6-52) cho thấy rằng :

- $p < 0 \Rightarrow \beta_1 > 0$  và  $\beta_2 < 0$  khi  $t \rightarrow \infty$ ,  $\Delta Z \rightarrow \infty$  mực nước tăng dần.
- $p = 0 \Rightarrow \beta_1 = 0$  và  $\beta_2 < 0$  khi  $t \rightarrow \infty$ ,  $\Delta Z \rightarrow C_1$  dao động không tắt.
- $m^2/4 > p > 0 \Rightarrow \beta_1 < 0$  và  $\beta_2 < 0$  khi  $t \rightarrow \infty$ ,  $\Delta Z \rightarrow 0$  dao động tắt dần.

Khi  $p = \frac{m^2}{4}$  phương trình (6-50) có một nghiệm kép

$\beta_1 = \beta_2 = -\frac{m}{2}$  và phương trình (6-47) có nghiệm tổng quát:

$$\Delta Z = e^{\beta_1 t} (C_1 + C_2 t) \quad (6-53)$$

Từ (6-53) cho thấy rằng :

- $m \leq 0 \Rightarrow \beta > 0$  khi  $t \rightarrow \infty$ ,  $\Delta Z \rightarrow \infty$  mực nước tăng dần.
- $m > 0 \Rightarrow \beta < 0$  khi  $t \rightarrow \infty$ ,  $\Delta Z \rightarrow 0$  dao động tắt dần.

Khi  $p > \frac{m^2}{4}$  phương trình (6-50) có hai nghiệm phức:

$$\beta_{1,2} = -\frac{m}{2} \pm i \sqrt{p - \frac{m^2}{4}}$$

và phương trình (6-47) có nghiệm tổng quát:

$$\Delta Z = e^{-\frac{m}{2}t} \left[ C_1 \cos \left( \sqrt{p - \frac{m^2}{4}} t \right) + C_2 \sin \left( \sqrt{p - \frac{m^2}{4}} t \right) \right] \quad (6-54)$$

Từ (6-54) cho thấy rằng :

- $m < 0 \Rightarrow$  khi  $t \rightarrow \infty$ ,  $\Delta Z \rightarrow \infty$  dao động tăng dần.
- $m = 0 \Rightarrow$  dao động hình sin không tắt.
- $m > 0 \Rightarrow$  khi  $t \rightarrow \infty$ ,  $\Delta Z \rightarrow 0$  dao động hình sin tắt dần.

Kết luận: Trong các trường hợp với  $p > 0$  và  $m > 0$  thì dao động luôn luôn tắt dần khi đó :

$$F_{gh} = \frac{fL}{2gk(H_0 - h_c - 3h_{Tc})} \quad (6-55)$$

và

$$h_c + h_{Tc} < \frac{H_0}{3} \quad (6-56)$$

Công thức trên là tính với giả thiết rằng hiệu suất tuốc bin không thay đổi trong quá trình dao động. Thực tế khi cột nước làm việc thay đổi với trị số  $\Delta H$ , hiệu suất tuốc bin sẽ thay đổi một trị số  $\Delta \eta$ . Sự thay đổi này có thể tính được từ đường đặc tính tuốc bin.

Khi đó tiết diện giới hạn của TĐA sẽ bằng:

$$F_{gh} = \frac{fL(1 + \theta)}{2gk[H_0 - h_c - (3 + 2\theta)h_{Tc}]} \quad (6-57)$$

Trong đó :  $\theta = \frac{H_0 - h_c - h_{Tc}}{\eta_c} \frac{\partial \eta}{\partial H}$  ;  $\theta = 0,15 \div 0,20$ .

Do đó diện tích tiết diện TĐA được chọn  $F = (1,05 \div 1,10) F_{gh}$

### 6.6.3. Trạm thủy điện làm việc trong hệ thống

Tiết diện tháp điều áp (F) theo công thức sau:

$$F > F_{gh} \frac{3\varepsilon - 1}{2} \quad (6-58)$$

Trong đó : -  $F_{gh}$  - tiết diện của tháp điều áp trong trường hợp TTĐ làm việc độc lập nói trên.;  $\varepsilon$  - Tỉ số công suất của trạm so với công suất của hệ thống  $\varepsilon = N_{\text{trạm}} / N_{\text{hệ thống}}$

## 6.7. LỰA CHỌN LOẠI VÀ KÍCH THƯỚC THÁP ĐIỀU ÁP

Trong thiết kế, việc lựa chọn loại và kích thước TĐA không thể tách rời với việc lựa chọn các bộ phận công trình trên hệ thống đường dẫn và nhà máy thủy điện. Kết cấu và kích thước TĐA ảnh hưởng tới trị số áp lực nước và áp lực nước trong đường hầm dẫn nước trước TĐA.

Trong thực tế, kích thước TĐA ít ảnh hưởng tới đường kính kinh tế của đường ống dẫn nước turbin, do đó khi xác định hình thức kết cấu và kích thước TĐA chỉ cần xét tới sự ảnh hưởng của chúng tới vốn xây dựng đường hầm trước tháp.

Các đại lượng biến đổi có ảnh hưởng tới vốn xây dựng công trình là biên độ dao động mực nước lớn nhất  $Z_{\max}$ , nhỏ nhất  $Z_{\min}$  và diện tích tiết diện tháp F. Diện tích này phải bảo đảm điều kiện  $F > F_{gh}$ . Mực nước cao nhất và thấp nhất trong TĐA xác định áp lực nước trong đường hầm dẫn nước trước tháp và vì thế quyết định vốn xây dựng đường hầm.

Tiêu chuẩn đánh giá khi so sánh các phương án TĐA là :

$$C_{\text{hầm}} + C_{\text{tháp}} = \min$$

Chi phí tính toán năm của đường hầm Châm tăng khi tăng  $Z_{\max}$ ,  $Z_{\min}$  do tăng áp lực nước trong chúng. Nhưng đối với TĐA thì ngược lại,  $Z_{\max}$ ,  $Z_{\min}$  có nghĩa là diện tích F giảm và do đó giảm vốn xây dựng nó ( chi phí tính toán năm  $C_{\text{th}}$  ). Kinh nghiệm thực tế cho thấy  $Z_{\max}$  kinh tế thường trong khoảng 3÷6 m.

Thông thường với TĐA hai ngăn với địa chất là đá thì ngăn trên bố trí trong khối đào hở trên mặt đất, với TĐA để hở hoàn toàn trên mặt đất thì thường sử dụng loại có lõi trong và làm bằng bê tông cốt thép.

## **6.8. TÍNH TOÁN KẾT CẤU CỦA THÁP ĐIỀU ÁP**

### **6.8.1. Tổ hợp tải trọng**

Chủ yếu tính với ba trường hợp sau:

- Mức nước trong tháp điều áp cao nhất, do đó áp lực nước và trọng lượng nước trong tháp điều áp là lớn nhất.

- Mức nước trong tháp điều áp thấp nhất, do đó áp lực nước bên ngoài cao nhất hoặc áp lực vừa phun cùng với áp lực chủ động của nham thạch quanh tháp điều áp và lực đẩy lên từ dưới đáy.

- Những trường hợp trên cộng thêm ứng lực nhiệt độ và co ngót trong những trường hợp đó.

Tính toán kết cấu tháp điều áp chủ yếu là tính phần thân đứng và tấm đáy.

### **6.8.2. Tính toán phần thân đứng**

Phần thân đứng là một ống rỗng, với trường hợp kiểu ngầm tính toán thường phức tạp hơn. Dưới đây giới thiệu cách tính khi giếng đặt ngầm trong nham thạch.

Thân giếng có thể đặt khe co giãn ngang. Giữa thân đứng và tấm đáy thường nổi cứng, rất ít khi nổi bản lề, bởi khi đó làm vật chắn nước rất phức tạp.

*a) Nguyên lý và công thức tính toán*

Tính với trường hợp thân đứng và tấm đáy nổi cố định. Độ dày thân lấy bằng nhau theo suốt chiều cao.

Các ký hiệu và công thức tính toán như sau:

R - Bán kính tính đến giữa bề dày thân (m)

t - Độ dày thân (m)

k - Hệ số kháng đàn tính của nham thạch ( $T/m^3$ )

p - Cường độ áp lực nước bên trong hoặc bên ngoài, quy định áp lực nước bên trong lấy dấu dương ( $T/m^2$ ).

$\varphi$  - Biến vị của thân đứng dưới tác dụng của ngoại lực, quy định hướng ra ngoài là dương (m).

$\gamma$  - Trọng lượng riêng của nước ( $T/m^3$ )

D - Độ cứng chống uốn của thân :

$$D = \frac{1}{12(1 - \mu^2)} E.t^3$$

$\mu$  - Hệ số Poat xông của bê tông.

E - Mô đun đàn tính của bê tông.

x - Toạ độ tính từ điểm tính toán đến tấm đáy, hướng lên là dương (m).

H - Toàn bộ chiều cao thân đứng (m)

$\beta$  - Thông số tham biến tính bằng công thức :

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{Et + kR^2}{4R^2D}} = \sqrt[4]{\frac{K}{4D}}$$

Hoặc lấy  $k =$  hệ số kháng đàn tính tính đối:

$$K = \frac{Et}{R^2} + k$$

$M$  - Mô men uốn trên đơn vị chiều dài (T.m/m)

$V$  - Lực cắt đơn vị chiều dài (T/m)

$T$  - Lực hướng vòng trên đơn vị chiều dài, lấy lực kéo là dấu dương (T/m).

Mô men  $M_0$  và lực cắt  $V_0$  ở đáy thân đứng tính như sau:

- Khi chịu tác dụng của áp lực nước bên trong:

$$M_0 = \frac{-\gamma.HRt}{\sqrt{12(1-\mu^2)}} \sqrt{\frac{Et}{Et + kR^2}} \left(1 - \frac{1}{\beta H}\right) \quad (6-59)$$

$$V_0 = \frac{+\gamma.Rt}{\sqrt{12(1-\mu^2)}} \sqrt{\frac{Et}{Et + kR^2}} (2\beta H - 1) \quad (6-60)$$

Nếu mực nước trong tháp điều áp còn cách miệng thân một đoạn  $d$  thì thay trị số  $H$  trong công thức bằng  $(H-d)$ .

- Khi chịu tác dụng của áp lực nước bên ngoài, khi này nham thạch không sinh ra kháng lực đàn tính ( $k=0$ ) công thức tính như sau:

$$M_0 = \frac{+\xi.HRt}{\sqrt{12(1-\mu^2)}} \left(1 - \frac{1}{\beta H}\right) \quad (6-61)$$

$$V_0 = \frac{-\xi.Rt}{\sqrt{12(1-\mu^2)}} (2\beta H - 1) \quad (6-62)$$

Trong đó :  $\xi$  - tỷ trọng nước trong tầng nham thạch. Công thức trên chưa xét đến ảnh hưởng của tấm đáy, thực tế do ảnh hưởng của tấm đáy phải tính như sau:

$$M_0' = M_0 + M'; \quad V_0' = V_0 + V'$$

Trong đó :  $M'$  và  $V'$  do ảnh hưởng của tấm đáy và tính toán ở phần dưới Mô men, lực cắt, độ dốc và biến vị tại mặt cắt có tọa độ  $x$  tính từ đáy :

$$M_x = M_0 \Phi(\beta x) + \frac{V_0}{\beta} \zeta(\beta x) \quad (6-63)$$

$$V_x = -2\beta M_0 \zeta(\beta x) + V_0 \psi(\beta x) \quad (6-64)$$

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{\gamma}{K} + \frac{1}{2\beta^2 D} [2\beta M_0 \theta(\beta x) + V_0 \psi(\beta x)] \quad (6-65)$$

$$y = +\frac{M}{K} - \frac{1}{\beta^2 D} [\beta M_0 \psi(\beta x) + V_0 \theta(\beta x)] \quad (6-66)$$

Trong đó các hàm số  $\phi(\beta x)$ ,  $\zeta(\beta x)$ ,  $\Psi(\beta x)$  và  $\theta(\beta x)$  tính như sau:

$$\phi(\beta x) = e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x)$$

$$\zeta(\beta x) = e^{-\beta x} \sin \beta x$$

$$\psi(\beta x) = e^{-\beta x} (\cos \beta x - \sin \beta x)$$

$$\theta(\beta x) = e^{-\beta x} \cos \beta x$$

Lực hướng vòng trên đơn vị chiều dài tính theo công thức :

$$T = \frac{2t}{R} y \quad (6-67)$$

b) *Tính cường độ chống uốn, chống đẩy, hệ số tương hỗ của thân đứng*

Mô men uốn làm cho đáy thân phát sinh một góc quay đơn vị gọi là cường độ chống uốn. Giả thiết thân đứng cao vô hạn, dưới tác dụng của mô men uốn  $M_0$  và lực cắt  $V_0$ , đáy giằng sinh ra góc quay đơn vị  $[dy/dx]_{(x=0)}=1$  và không có chuyển vị ngang (hình 6-13 a)

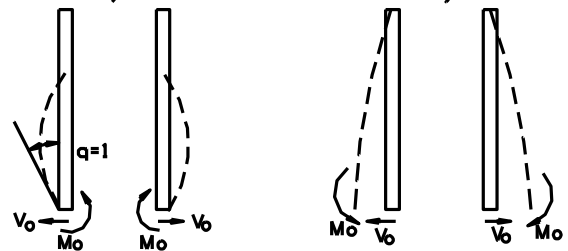
Khi đó sẽ có :

$$M_0 = +2\beta D \quad (6-68)$$

Trị số này gọi là cường độ chống uốn. Dấu dương là biểu thị mô men dương và hướng của góc quay dương là giống nhau.

$$V_0 = -2\beta^2 D \quad (6-69)$$

Dấu âm (-) biểu thị lực cắt hướng ra ngoài. Trị số  $V_0$  gọi là hệ số tương hỗ.



**Hình 6-13.** Mô men  $M_0$  và lực cắt  $V_0$  tác dụng

a- khi đáy có góc quay đơn vị ;

b- khi đáy có di động đơn vị

Nếu cho đáy tháp sinh ra chuyển vị ngang đơn vị  $y=1$ , và không có chuyển vị quay ( $dy/dx=0$ ) như hình 6-13b. Khi đó mô men và lực cắt ở đáy:

$$M_0 = + 2\beta^2 D \quad (6-70)$$

$$V_0 = - 4\beta^3 D \quad (6-71)$$

ở đây  $V_0$  gọi là cường độ chống đẩy,  $M_0$  là hệ số tương hỗ.



### 6.8.3. Các bước tính toán phần thân cứng

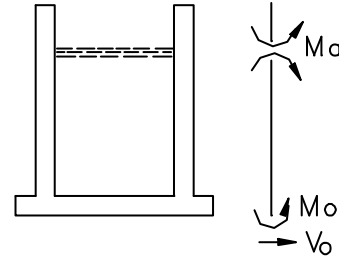
Dùng công thức (6-69) và (6-60) tính mô men và lực cắt ở đầu cổ định của đáy thân.

Xét ảnh hưởng của tấm đáy, sau khi đã tính toán tấm đáy để tính lại mô men và lực cắt ở đáy thân.

Dùng công thức (6-63), (6-64), (6-65), (6-66) và (6-67) tính toán mô men uốn, lực cắt, độ dốc biến vị và lực hướng vòng của các điểm dọc thành thân tháp.

Khi có nước trong tháp thì tại mặt nước tự do, thân tháp sẽ có một mô men uốn (hình 6-14)

$$M_a = \frac{\gamma \cdot \beta \cdot D}{K} \quad (6-72)$$



**Hình 6-14.** Sơ đồ tính toán khi trong tháp chịu một phần áp lực nước bên trong.

### 6.8.4. Tính toán tấm đáy

Đáy tháp là tấm tròn hoặc tấm hình vành khăn. Tính toán theo những trường hợp cụ thể sau:

a) *Tính toán tấm đáy không xét đến lực kháng đàn tính của nham thạch*

Đó là trường hợp tấm đáy chịu áp lực nước bên ngoài.

- Tấm tròn bán kính là b, mép ngoài cố định, chịu tải trọng phân bố đều q (hình 6-15).

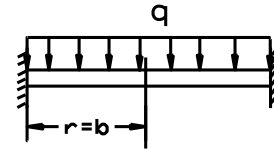
Gọi mô men theo hướng đường kính là  $M_r$  và mô men theo hướng tiếp tuyến là  $M_\theta$ , các công thức tính toán như sau:

$$M_r = \frac{q}{16} [b^2(1+\mu) - r^2(3+\mu)] \quad (6-73)$$

$$M_\theta = \frac{q}{16} [b^2(1+\mu) - r^2(1+3\mu)] \quad (6-74)$$

ở mép ngoài cùng, chỗ  $r = b$ :

$$M_{r(r=b)} = -\frac{q \cdot b^2}{8} \quad (6-75)$$



**Hình 6-15.** Sơ đồ tính toán tấm tròn chịu tải trọng phân bố đều.

$$M_{\theta(r=b)} = -\frac{\mu \cdot q \cdot b^2}{8} \quad (6-76)$$

- Tấm đáy tròn, không chịu tải trọng, mép ngoài chịu mô men uốn M.

Lúc này  $q=0$ , khi đó:

$$M_r = -\frac{D(1+\mu)}{b} \theta \quad (6-77)$$

$$M_\theta = \frac{D(1+\mu)}{b} \theta \quad (6-78).$$

Trong đó :  $\theta$  - Là góc quay giới hạn do M gây ra. Dấu âm là chỉ hướng quy định của mô men M và góc quay  $\theta$  là ngược nhau.

- Tính toán tấm đáy hình vành khăn

Mép ngoài gắn cố định, chịu tải trọng phân bố đều q (hình 6-16). Gọi a, b là bán kính trong và ngoài của tấm đáy, công thức tính:

$$M_r = -D \left[ \frac{qr^2}{16D} (3 + \mu) + \frac{c_1}{2} (1 + \mu) - \frac{c_2}{r^2} (1 - \mu) + \frac{c_3}{2} \lg \frac{r}{e} (1 + \mu) + \frac{c_3}{4} (1 - \mu) \right] \quad (6-79)$$

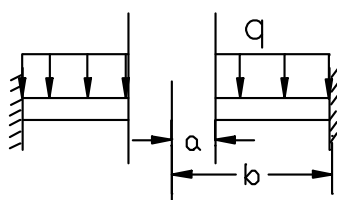
$$M_\theta = -D \left[ \frac{qr^2}{16D} (1 + 3\mu) + \frac{c_1}{2} (1 + \mu) + \frac{c_2}{r^2} (1 - \mu) + \frac{c_3}{2} \lg \frac{r}{e} (1 + \mu) - \frac{c_3}{4} (1 - \mu) \right] \quad (6-80)$$

Trong đó  $c_1, c_2, c_3$  được xác định từ phương trình sau:

$$\frac{q}{64D} (a^4 - b^4) + \frac{c_3}{4} \left[ a^2 \left( \lg \frac{a}{e} \right) - b^2 \left( \lg \frac{b}{e} \right) \right] + \frac{c_1}{4} (a^2 - b^2) + c_2 \lg \frac{a}{b} = 0 \quad (6-81)$$

$$\frac{q \cdot a^3}{16D} + \frac{c_3 \cdot a}{2} \left( \lg \frac{a}{e} + \frac{1}{2} \right) + \frac{c_1 \cdot a}{2} + \frac{c_2}{a} = 0 \quad (6-82)$$

$$\frac{q \cdot b^3}{16D} + \frac{c_3 \cdot b}{2} \left( \lg \frac{b}{e} + \frac{1}{2} \right) + \frac{c_1 \cdot b}{2} + \frac{c_2}{b} = 0 \quad (6-83)$$



**Hình 6-16.** Sơ đồ tính toán tấm hình vành khăn, mép tấm gắn cố định

b) Tính toán tấm đáy có xét đến lực kháng đàn tính của nham thạch

Khi tấm đáy chịu tải trọng hướng xuống, cần xét đến ảnh hưởng của kháng lực đàn tính của nền nham thạch. Phương pháp tính toán thường theo giả thiết Vinkle tức là biến vị của một điểm dưới tấm đáy tỷ lệ thuận với kháng lực đàn tính tại điểm đó (hệ số tỷ lệ này là  $k'$ )

-Tấm tròn:

Công thức tính mô men:

$$M_r = -ql^2 \left[ C_1 Z_1'' \left( \frac{r}{l} \right) + C_2 Z_2'' \left( \frac{r}{l} \right) + \frac{\mu l}{r} C_1 Z_1' \left( \frac{r}{l} \right) + C_2 Z_2' \left( \frac{r}{l} \right) \right] \quad (6-84)$$

ở mép ngoài cùng, chỗ  $r=b$  :

$$M_d = -ql^2 \left\{ C_1 Z_1' \left( \frac{b}{l} \right) + C_2 Z_2' \left( \frac{b}{l} \right) + \frac{\mu l}{b} \left[ C_1 Z_1'' \left( \frac{b}{l} \right) + C_2 Z_2'' \left( \frac{b}{l} \right) \right] \right\} \quad (6-85)$$

Trong đó  $C_1, c_2$  tính bằng công thức:

$$C_1 Z_1(Z) + C_2 Z_2(Z) + 1 = C_1 Z_1 \left( \frac{b}{l} \right) + C_2 Z_2 \left( \frac{b}{l} \right) + 1 = 0 \quad (6-86)$$

$$C_1 Z_1' \left( \frac{b}{l} \right) + C_2 Z_2' \left( \frac{b}{l} \right) = 0 \quad (6-87)$$

l - tính từ công thức:

$$\frac{D'}{K'} = l^4$$

D' - là độ cứng tấm đáy, tính từ công thức:

$$D' = \frac{E \cdot t'^3}{12(1 - \mu^2)}$$

t' - Là độ dày tấm đáy ;  $Z = r/l$  ;  $Z_1, Z_2$  là hàm số dưới hình thức cấp số của Z.

$$Z_1 = 1 - \frac{Z^4}{2^4 2!^2} + \frac{Z^8}{2^8 4!^2} - \dots \quad (6-88)$$

$$Z_2 = \frac{Z^2}{2^2 1!^2} - \frac{Z^6}{2^6 3!^2} + \frac{Z^{10}}{2^{10} 5!^2} \dots \quad (6-89)$$

- Cường độ chống uốn của tấm đáy tròn.

Giả thiết trên tấm đáy không chịu tải trọng thẳng đứng, tức là  $q=0$ , mà ven theo mép tấm đáy có mô men  $M_0$  tác dụng. Khi đó độ cứng chống uốn, tức là mô men cần thiết làm cho mép tấm đáy sinh ra góc quay đơn vị:

$$S = -\frac{D'}{l} \left\{ C_1 Z_1'' \left( \frac{b}{l} \right) + C_2 Z_2'' \left( \frac{b}{l} \right) + \frac{\mu \cdot l}{a} \left[ C_1 Z_1(Z) + C_2 Z_2' \left( \frac{b}{l} \right) \right] \right\} \quad (6-90)$$

## **Câu hỏi chương 6**

1. Trình bày công dụng, điều kiện áp dụng tháp điều áp.
2. Nguyên lý làm việc và phương trình cơ bản giao động mực nước trong tháp điều áp.
3. Đặc điểm cấu tạo, nguyên lý làm việc, điều kiện ứng dụng các loại tháp điều áp thường dùng.
4. Nguyên lý tính toán dao động mực nước trong TĐA, các công thức giải tích gần đúng để xác định mực nước lớn nhất trong các loại TĐA thường dùng.
5. Điều kiện giao động ổn định của mực nước trong TĐA. Diện tích giới hạn (Fgh) và nguyên lý lựa chọn kích thước của TĐA.

## **Phần 2: NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN**

### **Chương I: CÁC THÀNH PHẦN CƠ BẢN CỦA NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN**

#### **1.1. PHÂN LOẠI NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN**

Nhà máy thủy điện là công trình thủy công trong đó bố trí các thiết bị động lực ( turbin, máy phát điện ) và các hệ thống thiết bị phụ phục vụ cho sự làm việc bình thường của các thiết bị chính nhằm sản xuất điện năng cung cấp cho các hộ dùng điện. Có thể nói đây là một xưởng sản xuất điện năng của công trình thủy điện. Loại và kết cấu nhà máy phải đảm bảo làm việc an toàn của các thiết bị và thuận lợi trong vận hành.

Nhà máy thủy điện được chia thành ba loại cơ bản:

- *Nhà máy thủy điện ngang đập* được xây dựng trong các sơ đồ khai thác thủy năng kiểu đập với cột nước không quá 35 - 40 m. Bản thân nhà máy là một thành phần công trình dâng nước, nó thay thế cho một phần đập dâng. Cửa lấy nước cũng là thành phần cấu tạo của bản thân nhà máy. Do vị trí nhà máy nằm trong lòng sông nên loại nhà máy này còn được gọi là nhà máy thủy điện kiểu lòng sông. Chi tiết kết cấu loại nhà máy này được trình bày trong chương II mục 2-1.

- *Nhà máy thủy điện sau đập* được bố trí ngay sau đập dâng nước. Khi cột nước cao hơn 30-45 m thì bản thân nhà máy vì lý do ổn định công trình không thể là một thành phần của công trình dâng nước ngay cả trong các trường hợp tổ máy công suất lớn. Nếu đập dâng nước là đập bê tông trọng lực thì cửa lấy nước và đường ống dẫn nước turbin được bố trí trong thân đập bê tông, đôi khi đường ống dẫn nước turbin được bố trí trên mái hạ lưu của đập.

- *Nhà máy thủy điện đường dẫn* trong sơ đồ khai thác thủy năng kiểu đường dẫn hoặc kết hợp, nhà máy thủy điện đứng riêng biệt tách khỏi công trình đầu mối. Cửa lấy nước đặt cách xa nhà máy. Trong trường hợp công trình dẫn nước là không áp thì cửa lấy nước nằm trong thành phần của bể áp lực; trong trường hợp công trình dẫn nước là đường hầm có áp thì cửa lấy nước bố trí ở đầu đường hầm và là một công trình độc lập. Đường dẫn nước vào nhà máy thường là đường ống áp lực nhưng trong trường hợp trạm thủy điện đường dẫn cột nước thấp với đường dẫn là kênh dẫn thì có thể bố trí nhà máy thủy điện kiểu ngang đập.

Ngoài cách phân loại cơ bản trên nhà máy thủy điện còn được phân loại theo vị trí tương đối của bản thân nhà máy trong bố trí tổng thể: Nhà máy thủy điện trên mặt đất ( nhà máy thông thường); nhà máy thủy điện ngầm được bố trí toàn bộ trong lòng đất, nhà máy thủy điện nửa ngầm với phần chủ yếu của nhà máy bố trí ngầm trong lòng đất, phần mái che có thể bố trí hở trên mặt đất; nhà máy thủy điện trong thân đập được bố trí trong thân đập bê tông, trong thân đập đất, giữa các trụ chống của đập trụ chống...

Về đặc điểm kết cấu của ba loại cơ bản trên, nhà máy thủy điện còn có nhiều dạng kết cấu đặc biệt khác như nhà máy kết hợp xả lũ dưới đáy hoặc trong thân đập tràn, trong trụ pin, nhà máy thủy điện ngang đập với turbin capxul, nhà máy thủy điện thủy triều... Các loại nhà máy này tạm xếp chung vào loại nhà máy đặc biệt.

Về công suất nhà máy thủy điện chia làm nhiều loại theo công suất lắp máy, cách phân loại này chỉ là tương đối và cụ thể với tiêu chuẩn của từng quốc gia. Ở Việt nam cấp công trình được xác định theo tiêu chuẩn TCVN-5060-90:

Nhà máy thủy điện lớn  $N_{lm} \geq 1000 \text{ MW}$

Nhà máy thủy điện vừa :  $15 \leq N_{lm} \leq 1000 \text{ MW}$

Nhà máy thủy điện nhỏ :  $N_{lm} \leq 15 \text{ MW}$

Theo cột nước nhà máy thủy điện phân theo ba loại tùy thuộc cột nước công tác lớn nhất:

Nhà máy thủy cột nước cao :  $H_{max} > 400 \text{ m}$

Nhà máy thủy điện cột nước trung bình :  $50 \leq H_{max} \leq 400 \text{ m}$

Nhà máy thủy điện cột nước thấp :  $H_{max} < 50 \text{ m}$

Cột nước công tác  $H_{max}$  có liên quan đến loại turbin bố trí trong nhà máy. Ở TTĐ cột nước cao bố trí turbin tâm trục tỷ tốc bé và khi cột nước  $H_{max} > 500 \text{ m}$  sử dụng turbin gáo. Ở TTĐ cột nước trung bình thường bố trí các loại turbin tâm trục với các tỷ tốc từ lớn đến bé và trong một số trường hợp với cột nước  $H_{max} > 150 \text{ m}$  có thể sử dụng turbin cánh chéo. Ở TTĐ cột nước thấp thường bố trí turbin cánh quay hoặc turbin cánh quạt và cũng có thể bố trí các turbin tâm trục tỷ tốc lớn hoặc turbin cánh chéo.

Hình thức lắp máy cũng có ảnh hưởng lớn đến kết cấu nhà máy thủy điện: Với turbin phản kích công suất lớn thường bố trí trục đứng. Bố trí như vậy nhà máy sẽ gọn hơn nhưng chiều sâu móng nhà máy sẽ lớn. Với TTĐ ngang đập cột nước thấp  $H_{max} < 20 \text{ m}$  có thể sử dụng turbin cánh quay kiểu capxul trục ngang, ống hút thẳng. Với nhà máy thủy điện sử dụng turbin tâm trục công suất nhỏ cho thấy tốt nhất là sử dụng hình thức lắp máy trục ngang khi đó việc lắp đặt và sửa chữa turbin và máy phát không phụ thuộc lẫn nhau nhưng kích thước mặt bằng nhà máy đòi hỏi lớn hơn so với trục đứng. Đối với TTĐ sử dụng turbin gáo hình thức lắp máy có thể trục đứng hoặc trục ngang không phụ thuộc vào công suất tổ máy mà phụ thuộc vào số lượng vòi phun và các yếu tố kết cấu công trình cụ thể.

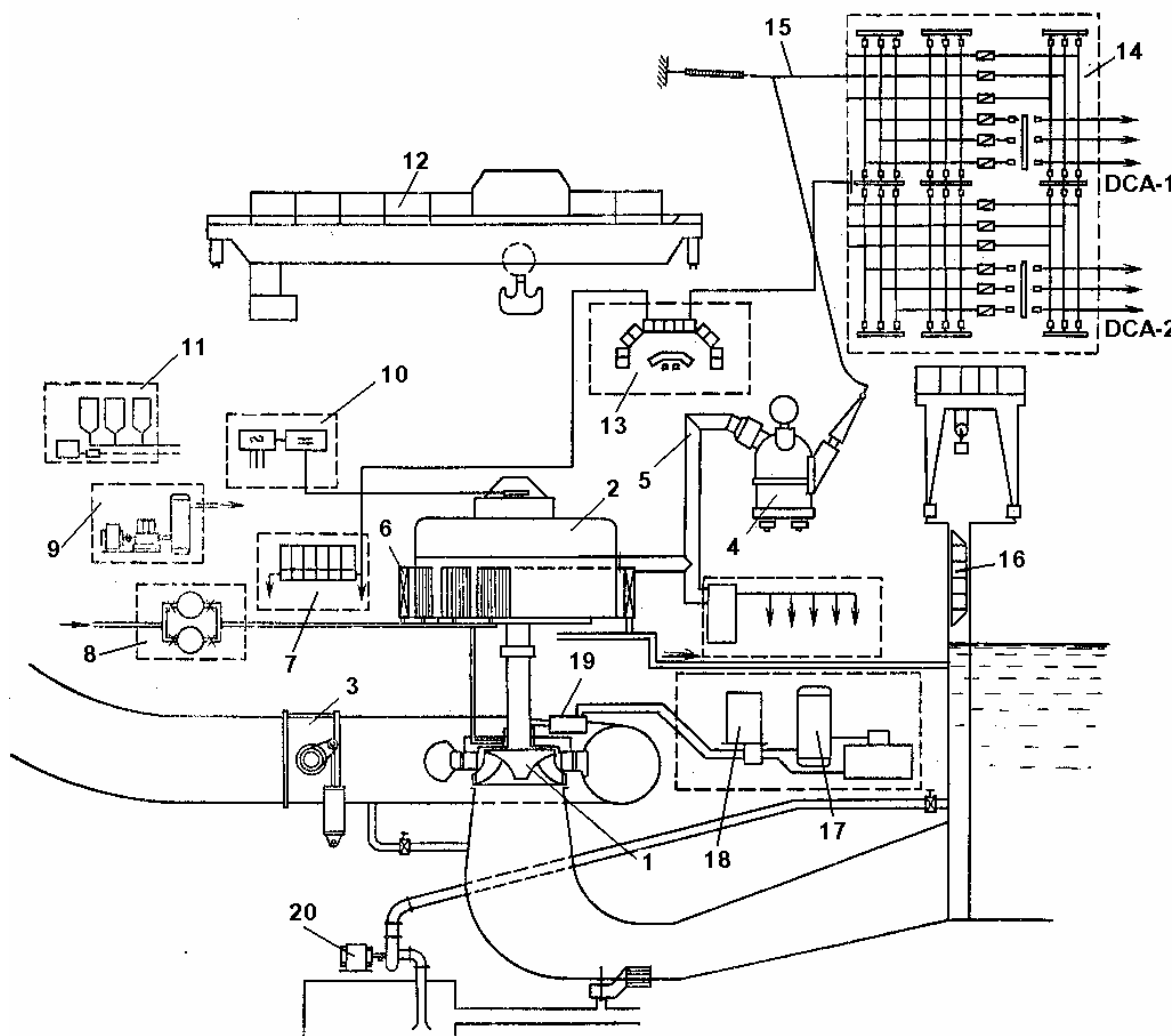
Kết cấu nhà máy thủy điện được chia làm hai phần: Phần dưới nước ( khối bê tông phía dưới) bố trí turbin, buồng xoắn, ống hút, các hệ thống thiết bị phụ. Phần trên nước bao gồm gian máy và gian lắp ráp-sửa chữa, gian máy bố trí máy phát điện, thùng dầu áp lực và tủ điều tốc turbin.

Đối với nhà máy thủy điện tích năng cách phân loại và đặc điểm cấu tạo cũng tương tự như nhà máy thủy điện. Phần khác nhau cơ bản ở kết cấu phần dưới nước nhà máy tùy theo sơ đồ bố trí thiết bị sẽ được trình bày ở chương II.

## 1.2. CÁC THIẾT BỊ BỐ TRÍ TRONG NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN

Các thiết bị bố trí trong nhà máy thủy điện được chia thành các loại: Thiết bị động lực ( turbin, máy phát điện), thiết bị cơ khí, thiết bị phụ, thiết bị điện.

Sơ đồ công nghệ bố trí các thiết bị trong nhà máy thủy điện được trình bày trên hình 1-1.



**Hình 1.-1.** Sơ đồ công nghệ bố trí thiết bị nhà máy thủy điện

1- Turbin, 2- máy phát điện, 3- van trước turbin, 4- máy biến áp, 5- cáp dẫn điện máy phát, 6- hệ thống làm mát máy phát, 7- hệ thống đo lường và điều khiển, 8- hệ thống cấp nước kỹ thuật, 9- hệ thống khí nén, 10- hệ thống kích từ, 11- hệ thống dầu, 12- cầu trục, 13- phòng điều khiển trung tâm, 14- trạm phân phối điện, 15- đường dây điện áp cao thuộc trạm, 16- cửa van ống hút, 17- thùng dầu áp lực, 18- tủ điều tốc, 19- máy tiếp lực, 20- hệ thống thoát nước.

### 1.2.1 Turbin thủy lực

Thiết bị động lực bao gồm turbin thủy lực và máy phát điện.

Các bộ phận cơ bản của turbin phản kích là bộ phận dẫn nước vào ( buồng xoắn), phần cơ khí thủy lực ( trụ chống, cánh hướng nước, bánh xe xông tác), bộ phận tháo

nước ( ống hút), hệ thống thiết bị điều khiển turbin ( thùng dầu áp lực, tủ điều tốc, máy tiếp lực).

Phụ thuộc vào cột nước mà sử dụng các loại turbin cánh quay, cánh quạt, tâm trục hay turbin gáo. Phần turbin thủy lực đã được trình bày trong giáo trình turbin thủy lực, trong giáo trình này chỉ trình bày một cách tổng quát các thiết bị khác có liên quan đến việc bố trí và kết cấu nhà máy thủy điện.

### 1.2.2. Máy phát thủy điện

Máy phát là động cơ biến cơ năng của turbin thành điện năng cung cấp cho hệ thống điện. Máy phát thủy điện về nguyên tắc là máy phát đồng bộ ba pha, các bộ phận chủ yếu của nó bao gồm: rotor nối với trục turbin trực tiếp hoặc gián tiếp qua hệ thống truyền động. Rotor làm nhiệm vụ tạo nên từ trường quay làm xuất hiện dòng điện xoay chiều trong các cuộn dây trong các ổ cực của stator máy phát. Để đảm bảo tần số dòng điện tiêu chuẩn 50 Hz ( ở một số nước là 60 Hz), yêu cầu rotor máy phát phải quay với tốc độ không thay đổi khi làm việc có phụ tải và bằng tốc độ quay đồng bộ. Nếu trục turbin và trục máy phát nối trực tiếp thì tốc độ quay của chúng phải như nhau và là tốc độ quay đồng bộ. Ngoài hai bộ phận chủ yếu là rotor và stator máy phát còn có các bộ phận phụ trợ khác như hệ thống kích từ, các hệ thống làm mát, chống cháy, nén nước v.v...

#### 1. Các thông số cơ bản của máy phát

- Công suất định mức ( công suất tác dụng) là công suất hữu công tối đa của máy phát :  $N_{mf}$ , kW.

- Công suất toàn phần ( công suất biểu kiến):  $S$ , kV.A.

$$S = \frac{N_{mf}}{\cos \varphi} = \sqrt{3}UI \quad (1-1)$$

- Công suất vô công :  $P_{mf}$ , var

$$P_{mf} = S \cdot \sin \varphi = \sqrt{3}UI \sin \varphi \quad (1-2)$$

- Điện áp máy phát :  $U$ , kV.

Ở máy phát ba pha nó là điện áp đầu ra của cực máy phát. Điện áp định mức của nó phụ thuộc vào công suất của máy phát và điện áp đường dây truyền tải với các mức như sau: 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 18; 20; 21; 24 kV.

Với loại turbin thông thường thì điện áp máy phát được chọn thiết kế như sau:

Công suất máy phát :  $N_{mf} \leq 15 \text{ MW}$  chọn  $U=6,3 \text{ kV}$ .  
 $N_{mf} \leq 70 \text{ MW}$   $U=10,5 \text{ kV}$ .  
 $N_{mf} > 70 \text{ MW}$   $U=18 \text{ kV}$ .

Với loại turbin kiểu capxul thì điện áp máy phát được chọn thấp hơn:

Công suất máy phát :  $N_{mf} \leq 25 \text{ MW}$  chọn  $U=3,15 \text{ kV}$ .  
 $N_{mf} > 25 \text{ MW}$   $U=6,3 \text{ kV}$ .

- Cường độ dòng điện của stator máy phát :  $I$ , A, phụ thuộc vào công suất và điện áp.

- Hệ số công suất tác dụng :  $\cos \varphi$  phụ thuộc vào yêu cầu của hệ thống lưới điện và công suất máy phát:

-

|                  |            |         |         |
|------------------|------------|---------|---------|
| $S, \text{MV.A}$ | $\leq 125$ | 126-360 | $> 360$ |
| $\cos \varphi$   | 0,8        | 0,85    | 0,90    |

- Số vòng quay định mức ( đồng bộ):  $n_o = \frac{60f}{p}$ , trong đó: p- số đôi cực từ của ro

to máy phát

- Hiệu suất máy phát điện :  $\eta_{mf}$  phụ thuộc vào công suất phát điện của máy phát. Hiệu suất ở chế độ làm việc với công suất định mức của máy phát loại lớn có thể đạt 96,5-98,5%.

## 2. Kết cấu máy phát và tổ máy

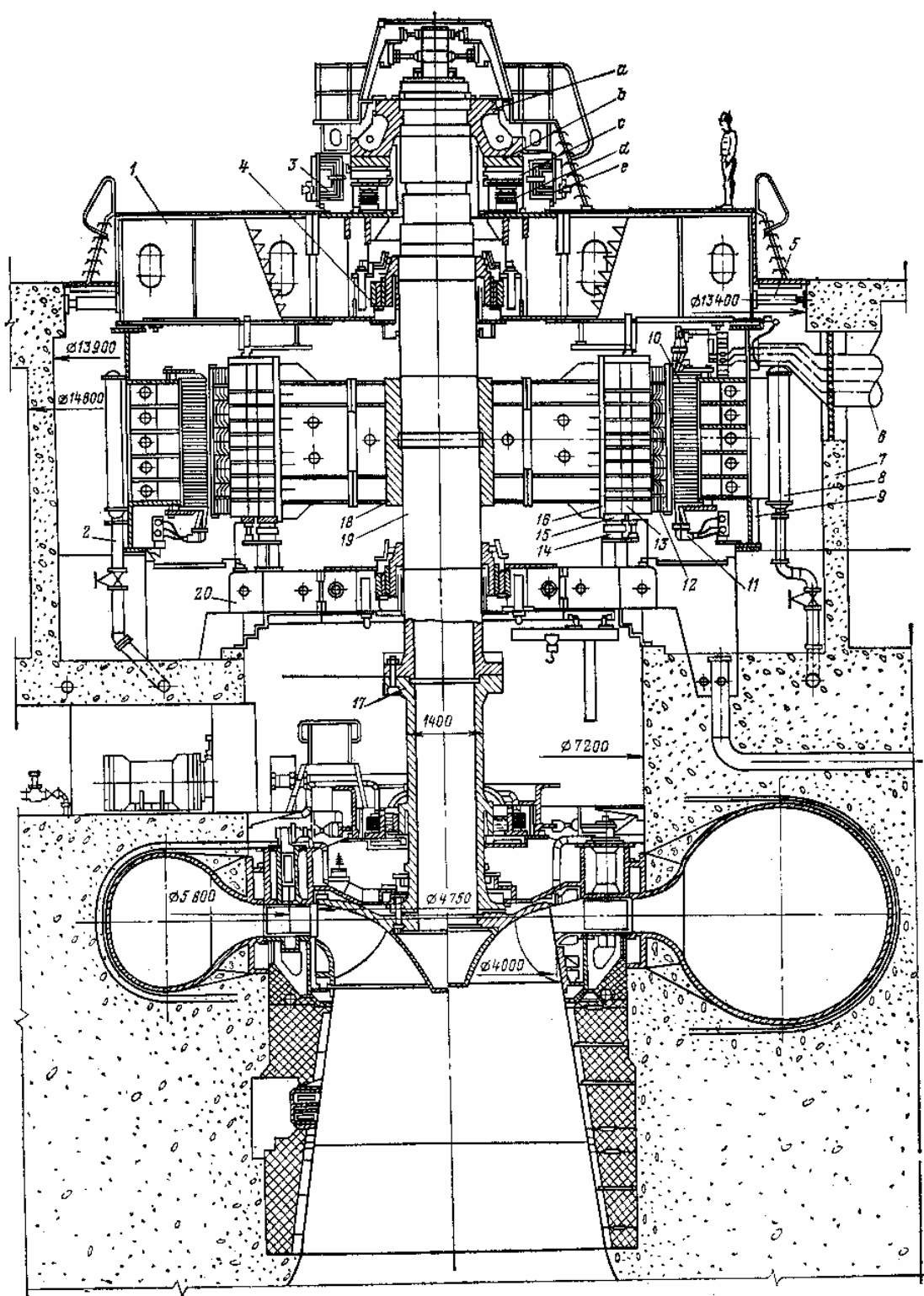
Tổ máy thủy điện có ba hình thức lắp máy: trục đứng, trục ngang và trục xiên. Trong hình thức lắp máy trục đứng có thể sử dụng các máy phát kiểu treo và kiểu ô ( hình 1-3). Thông thường máy phát kiểu treo được sử dụng với các máy phát có tốc độ quay  $n > 150$  vòng/phút, máy phát kiểu ô - khi  $n < 150$  vòng/phút.

### a. Máy phát kiểu treo:

Rotor ( hình 1-2) là bộ phận quay của máy phát trên đó gắn các cực từ với các cuộn dây sử dụng điện một chiều. Cấu tạo của rotor bao gồm: mayơ 18 gắn cố định trên trục 19, nan hoa ( khung) 16 và vành 13 trên đó gắn các cực từ 12. Mỗi một cực từ là một nam châm điện gồm một lõi thép và một cuộn dây, nó được gắn vào vành nhờ các rãnh trong vành 13 và được nêch chặt. Vành rotor được làm bằng thép lá dày 4-5 mm lắp ghép thành các cung tròn riêng biệt và liên kết với nhau khi lắp máy. Khi đường kính rotor nhỏ ( $< 4,5\text{m}$ ) vành có thể làm thành vòng tròn liền khối. Các lõi thép từ của các cực từ cũng được làm từ các thép lá dày 1,5-2 mm. Đầu của các cuộn dây của cực từ được nối vào hai vòng tiếp xúc của hệ thống kích từ. Dưới đáy của vành rotor có gắn các vòng đệm phanh 15 qua nó các guốc phanh 14 có thể ép chặt khi phanh hãm tổ máy.

Với đường kính nhỏ hơn 1400 mm trục máy phát 19 thường được đúc liền với bích, khi đường kính trục lớn hơn chúng thường được làm rời thành hai chi tiết riêng và hàn lại với nhau. Đôi khi trục máy phát được làm thành hai nửa hình trụ bằng thép cán uốn cong và hàn lại với nhau theo chiều dọc và sau đó hàn với bích. Chiều dày tấm thép cán không quá 100 mm. Thông thường trục máy phát và trục turbin được làm rỗng bên trong với mục đích kiểm tra chất lượng lắp ghép trục và trong vận hành sử dụng để bố trí các đường ống dẫn dầu điều khiển cánh bánh xe công tác turbin ( BXCT) hoặc ống dẫn khí để giảm sự dao động áp suất của dòng chảy trong BXCT.





**Hình 1-2.** *Cắt ngang tổ máy với máy phát điện kiểu treo*

*Stator* - phần cố định của máy phát có cấu tạo gồm lõi thép từ 10 và cuộn cảm điện xoay chiều 11, chúng được gắn trên giá đỡ 9. Cuộn cảm có dạng ống hoặc dạng thanh

được nối nối tiếp tạo theo các pha của dòng điện xoay chiều. Lõi thép từ được làm bằng các lá thép mỏng từ tính cao với chiều dày 0,5 mm trong đó bố trí các rãnh quấn dây và các rãnh thông khí của hệ thống làm mát máy phát 2 và 8. Stator thường được gia công thành 2-6 phần và lắp ghép với nhau bằng bích nối và bu lông. Giá máy phát ( còn gọi là vỏ máy) được đặt lên khối bê tông bộ đỡ của máy phát và neo vào bê tông bằng bu lông. Dòng điện được dẫn tới máy biến áp nhờ các dây dẫn 6.

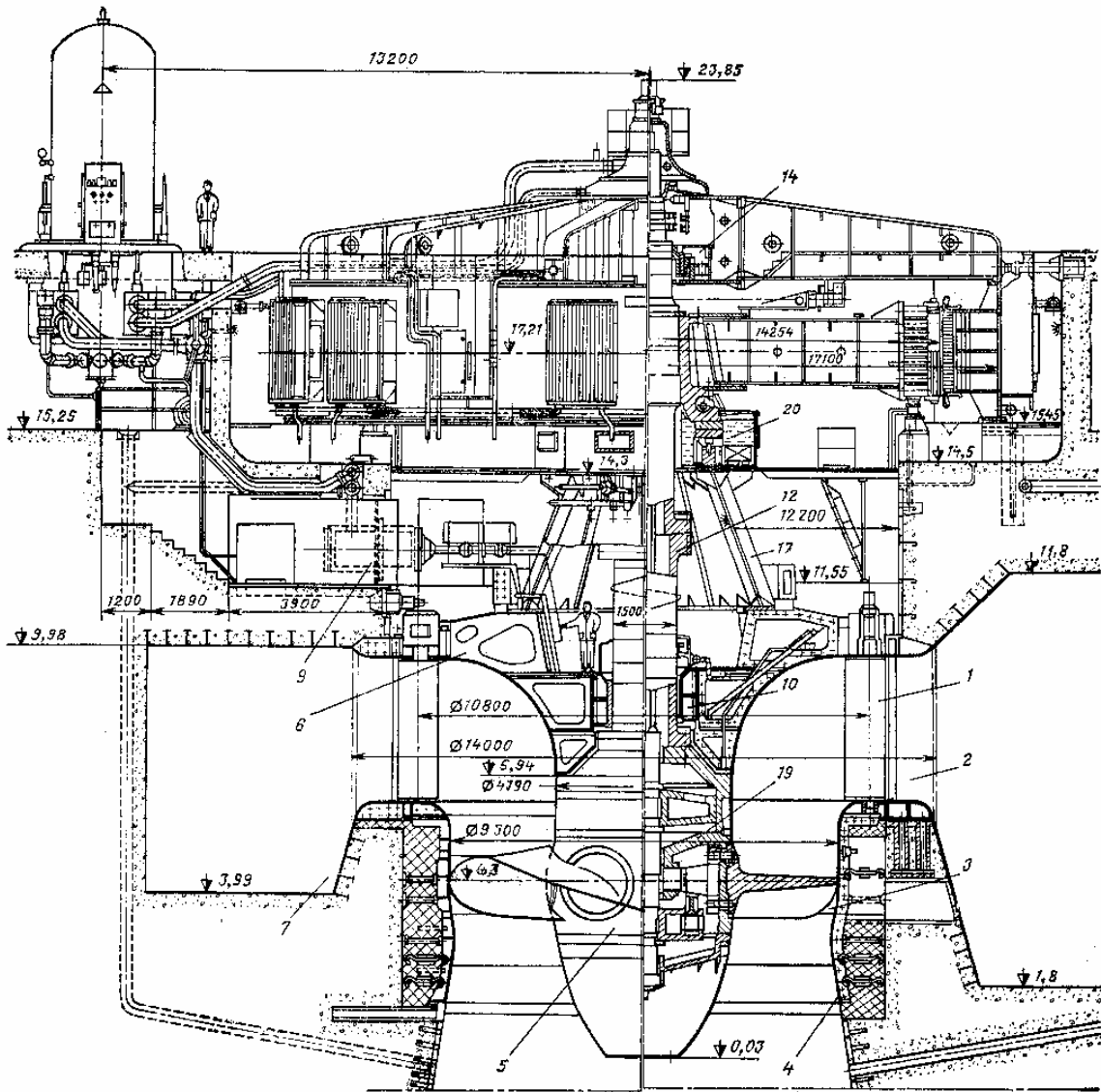
Ổ trục của máy phát được chia thành hai loại: ổ trục hướng 4 tiếp nhận các lực vuông góc với trục và ổ trục đỡ 3 tiếp nhận các lực dọc trục của toàn bộ tổ máy. ( Ổ trục đỡ còn gọi là ổ trục chính)

Ổ trục hướng của các máy phát trục đứng thường là các vòng bạc bôi trơn bằng dầu, các vòng bạc này được điều chỉnh bằng bu lông để điều chỉnh khoảng cách giữa bạc và trục.

Ổ trục đỡ tiếp nhận các lực theo phương thẳng đứng bao gồm trọng lượng tất cả các phần quay của tổ máy và lực dọc trục do áp lực của dòng chảy truyền qua BXCT của turbin. áp lực này có thể đạt 80%-140% trọng lượng của các phần quay. Như vậy tải trọng ổ trục này tiếp nhận là rất lớn có thể đạt tới 34 MN ( 34.000 KN ) và nó là bộ phận quan trọng của tổ máy. Để cho tổ máy làm việc an toàn và tuổi thọ cao cần phải đảm bảo sao cho tổn thất năng lượng do ma sát trong nó là nhỏ nhất, sự phân bố tải trọng từ phần quay lên các phần cố định phải tương đối đều.

Ổ trục đỡ thường được làm dưới dạng kết cấu cứng hoặc kết cấu đàn hồi bằng thủy lực hoặc bằng lò xo. Phần quay bao gồm bộ phận tỉ gắn chặt với trục  $a$  và gắn lên nó là đĩa  $b$  với mặt trơn phía dưới. Phần cố định gồm các vòng bạc bằng hợp kim hình cung đặt trên các hộp đệm thủy lực  $d$  truyền tải xuống dưới. Yêu cầu phần tiếp xúc giữa phần quay và phần cố định không cho phép để xảy ra ma sát khô, lớp màng dầu giữa các mặt tiếp xúc khoảng 50-100 micro mét, vì vậy toàn bộ ổ trục đỡ được đặt trong bể chứa dầu  $e$ . Trong quá trình khởi động và tắt máy, do tốc độ quay giảm nhỏ nên khả năng không đảm bảo tạo màng dầu trên toàn bề mặt đĩa bạc, trong trường hợp này người ta làm trong vòng tựa của bạc những rãnh mà theo đó dầu áp lực cao được tự động bơm vào trong các trường hợp này. Diện tích mặt tiếp xúc yêu cầu sao cho áp suất mặt tiếp xúc trên bạc không vượt quá 4-6 MP.

Giá đỡ các ổ trục có: giá chữ thập trên 1, giá chữ thập dưới 20 và kích neo 5. Giá chữ thập là một kết cấu thép dạng khung dầm rẽ quạt để đỡ các ổ trục đỡ và ổ trục hướng. Giá chữ thập trên đặt phía trên rotor đỡ ổ trục đỡ và ổ trục hướng, giá chữ thập dưới làm nhiệm vụ đỡ ổ trục hướng phía dưới rotor máy phát. Do ổ trục đỡ nằm trên rotor nên rotor và BXCT turbin được treo trên giá chữ thập trên và do vậy máy phát loại này được gọi là máy phát kiểu treo. Giá chữ thập trên được đặt trên giá vỏ của máy phát. Kích thước và kết cấu giá chữ thập phụ thuộc vào tải trọng mà nó gánh chịu, vì vậy ở máy phát kiểu treo giá chữ thập trên có chiều cao lớn hơn nhiều so với giá chữ thập dưới. Giữa các dầm rẽ quạt của giá chữ thập trên được lắp các tấm thép làm nắp đáy máy phát. Trong nhiều trường hợp các giá chữ thập được làm dưới dạng dầm đôi thông thường.



**Hình 1-3.** *Cắt ngang tổ máy với máy phát kiểu ô có giá chữ thập đặt trên nắp turbin*

**b. Máy phát kiểu ô:**

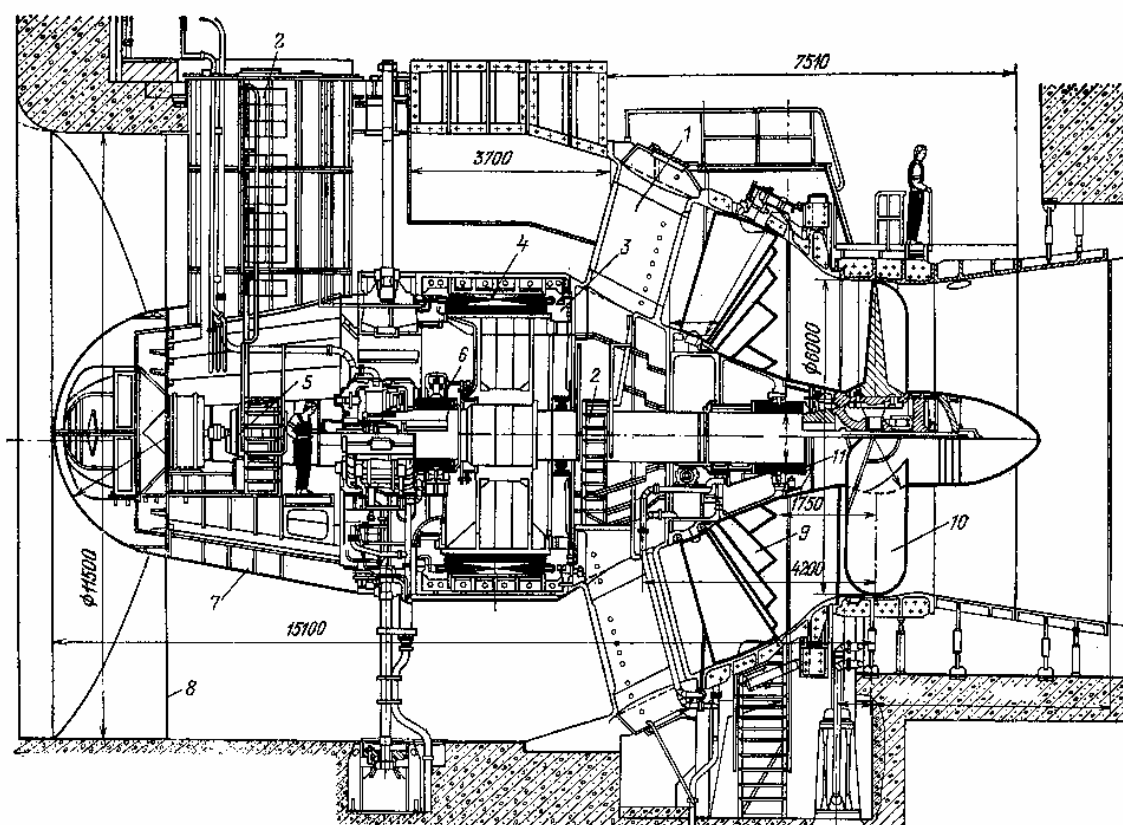
Ưu điểm của máy phát kiểu treo là tính ổn định cao, không bị rung động. Nhưng nhược điểm của chúng là chiều cao giá chữ thập lớn ảnh hưởng tới chiều cao gian máy, mặt khác khi sửa chữa totor bắt buộc phải tháo dỡ ổ trục chính.

Điểm khác biệt cơ bản của máy phát kiểu ô là ổ trục đỡ nằm dưới rotor máy phát, giá chữ thập dưới đỡ ổ trục sẽ có chiều cao lớn. Nhưng các máy phát trực đứng công suất lớn hiện nay thường sử dụng giá chữ thập dưới có dạng thùng chụp hình nón cụt 17 đặt trên nắp turbin ( hình 1-3). Làm như vậy có thể giảm được kích thước và trọng lượng của máy phát khoảng 7-10% so với giá chữ thập ngang thông thường đặt trên khối bê tông thành giếng turbin.

Nhược điểm của máy phát kiểu ô là trục tổ máy dễ bị rung động với mức độ lớn hơn so với máy phát kiểu treo nhưng có ưu điểm là cho phép sửa rotor máy phát không cần phải tháo dỡ ổ trục đỡ và do đó không phải tiến hành cân chỉnh lại trục, giảm thời

gian đại tu sửa chữa. Hơn nữa giá chữ thập trên có chiều cao thấp có thể làm giảm chiều cao của gian máy và về mặt mỹ quan gian máy sẽ thoáng đẹp hơn.

*c. Tổ máy thủy điện kiểu capxul.*



**Hình 1- 4.** Tổ máy capxul của TĐĐ Kievskaja ( Ukraina).

Máy phát của tổ máy capxul (hình 1-4) được đặt trong vỏ thép 7 ( capxul ) có hình dạng lưu tuyến để giảm tổn thất thủy lực. Capxul được đặt trên các trụ thép 8 và các stator ( trụ) turbin 1. Lối ra vào capxul với gian máy phía trên thường sử dụng giếng đứng 2. trong

Tổ máy thủy điện capxul ban đầu chỉ sử dụng ở các TĐĐ thủy triều nhưng ngày nay chúng được sử dụng rộng rãi ở các trạm thủy điện cột nước thấp (  $H \leq 20$  m ). Do dòng chảy trong các bộ phận dẫn dòng thẳng nên khả năng qua nước của turbin loại này lớn hơn so với turbin có cùng BXCT trực đứng khoảng 10-15%. Do đó sử dụng loại tổ máy này có thể giảm kích thước nhà máy và giảm vốn đầu tư xây dựng 10-20%.

Trong nhiều trường hợp có thể kết hợp các trụ đỡ capxul với lối ra vào liên thông với gian máy. Stator máy phát là một phần của vỏ capxul. Để giảm kích thước của capxul máy phát điện sử dụng hệ thống làm mát hoàn toàn bằng nước cả rotor 3 lần stator 4. đường kính capxul thường bằng  $(0,9 \div 1,2) D_1$  - đường kính BXCT turbin.

Trong các trường hợp cột nước thấp, tốc độ quay của máy phát nhỏ dẫn tới kích thước của nó phải lớn, để giảm kích thước máy phát người ta thường sử dụng bộ truyền động để tăng tốc độ quay lên khoảng  $6 \div 10$  lần. Đường kính BXCT turbin với cột nước  $H \leq 25$  m,  $N \leq 55$  MW nên chọn trong giới hạn  $4 \div 8$  m, đây là các hạn chế tối thiểu để bố trí thiết bị trong capxul và tối đa do tính phức tạp của kết cấu lớn trong nước và bản thân BXCT.

*d. Các hệ thống phụ của máy phát.*

*Hệ thống kích từ.* Hệ thống kích từ cung cấp điện một chiều cho các cuộn dây của rotor tạo nên từ trường quay. Công suất của hệ thống này khoảng  $0.5 \div 1\%$  tổng công suất các tổ máy. Khi mất điện một chiều thì tổ máy hoàn toàn sa tải, vì vậy hệ thống kích từ phải có độ tin cậy rất cao và phải độc lập cho từng tổ máy một.

Trước đây thường sử dụng hệ thống kích từ trực tiếp với máy kích từ đặt trực tiếp lên phía trên rotor máy phát, trục của máy kích từ nối với trục máy phát, vành góp của máy kích từ nối với đầu vào cuộn dây của rotor.

Các máy phát hiện đại công suất lớn thường sử dụng hệ thống kích từ gián tiếp với nguồn điện một chiều độc lập. Nguồn điện một chiều này có thể do động cơ điện không đồng bộ cung cấp hoặc sử dụng hệ thống điện tử dùng với các thiết bị nắn dòng. Nhưng để đảm bảo độ an toàn cao đối với hệ thống kích từ thường sử dụng động cơ điện xoay chiều phụ lắp chung trục với máy phát riêng cho từng tổ máy.

Hệ thống kích từ gián tiếp này có ưu điểm làm giảm chiều cao phần đỉnh máy phát điện và rẻ hơn.

*Hệ thống phanh hãm tổ máy.* Để giảm thời gian máy phát quay với tốc độ nhỏ, khi đó độ dày màng dầu bôi trơn trong các ổ trục giảm đi đáng kể gây nguy hại cho trục và ổ trục cần phải có hệ thống phanh tổ máy. Hệ thống này được bố trí trên giá chữ thập dưới hoặc trên bệ bê tông đỡ máy phát. Hệ thống phanh thường sử dụng là các kích sử dụng khí nén áp suất  $0,6 \div 0,8$  MP có gối đệm áp sát guốc phanh dưới đáy rotor. Quá trình phanh hãm thường bắt đầu khi tốc độ quay của máy phát giảm còn khoảng  $25 \div 30\%$  tốc độ định mức.

Hệ thống phanh còn sử dụng để nâng phần quay tổ máy lên khoảng  $30 \div 40$  mm đủ để tháo dỡ ổ trục chặn khi sửa chữa và lắp đặt nó. Trong trường hợp này cần có máy bơm dầu chuyên dùng với áp lực khoảng 10 MP bơm dầu vào các xi lanh của kích phanh.

*Hệ thống làm mát máy phát.* Khi làm việc lõi thép từ và các cuộn dây điện đều sản sinh một nhiệt lượng tương đối lớn. Thông thường sử dụng các cánh quạt gắn bên trên và bên dưới rotor, khi rotor quay các cánh này tạo thành những chiếc quạt để quạt gió qua các rãnh làm mát của rotor và stator máy phát, gió được đẩy từ phía trong ra ngoài.

Với các máy phát công suất  $N \geq 15$  MV.A thường sử dụng hình thức làm mát kiểu kín tuần hoàn. Không khí nóng được thổi qua máy làm mát với các ống đồng dẫn nước. Máy làm mát về nguyên tắc được gắn trực tiếp vào stator máy phát nhưng cũng có thể bố trí theo các phương hướng kính đối với trục.

Để tăng hiệu suất máy phát có thể bằng cách tăng cường hệ thống làm mát mà không cần làm tăng khối lượng của lõi thép cũng như của các cuộn dây. Thực hiện giải pháp này có thể tăng lưu lượng quạt không khí của các cánh quạt bằng cách tăng kích thước của chúng hoặc sử dụng hệ thống thổi khí riêng.

Biện pháp làm mát trực tiếp bằng nước là có hiệu quả nhất về mặt truyền nhiệt. Khi đó các dây dẫn điện của stator và đôi khi cả của rotor được làm dưới dạng các ống rỗng và qua đó nước lọc sạch chảy qua (nước chưng cất). Nước sạch này lại được nén qua máy làm mát sử dụng nước thông thường. Mặc dù làm mát bằng nước phức tạp hơn so với làm mát bằng không khí nhưng sử dụng nó làm tăng đáng kể công suất phát điện hoặc giảm đáng kể kích thước của nó khi cùng công suất (có thể giảm đến 30% chiều cao lõi thép từ).

*Hệ thống đo lường bảo vệ.* Hệ thống này cung cấp thông tin về chế độ làm việc không bình thường của tổ máy và tự động hoàn toàn dừng máy khẩn cấp khi các chỉ số kỹ thuật vượt quá mức giới hạn. Trong hệ thống này bao gồm các mạch bảo vệ bằng các tín hiệu (âm thanh, ánh sáng...). Hệ thống tín hiệu cảnh báo sẽ làm việc khi có sự sai lệch so với chế độ làm việc bình thường của một bộ phận nào đó của tổ máy, còn cắt tải sự cố chỉ trong trường hợp các chỉ số kỹ thuật vượt quá mức giới hạn.

Các thiết bị đo nhiệt độ được bố trí để kiểm tra các ổ trục và máy làm mát. Một loại thiết bị đo nhiệt được nối với mạch tín hiệu để thông báo còn loại khác nối với mạch rơ le bảo vệ tự động cắt tải khi cần thiết.

Ngoài các hệ thống trên, trong máy phát còn bố trí các bộ phận liên kết tới hệ thống phòng cháy của TTD.

*e. Xác định các thông số và các kích thước cơ bản của máy phát.*

Kích thước chủ yếu của máy phát điện là đường kính ngoài lõi thép từ của stator  $D_a$  và chiều cao lõi thép từ  $l_a$ .

Nhãn hiệu máy phát thể hiện loại máy phát, hình thức lắp máy (đứng, ngang) kích thước ( $D_a$ ,  $l_a$ ), số cực từ và ngoài ra còn thể hiện một số đặc điểm về khả năng làm việc trong các điều kiện khác như khí hậu...

Ví dụ : CB 940/235-30

- C – Loại máy phát đồng bộ
- B – trục đứng
- 940-  $D_a = 940$  cm
- 235 –  $l_a = 235$  cm
- 30 - số cực máy phát  $2p = 30$ .

Với máy phát công suất lớn  $N \geq 20$  MW thường được thiết kế chế tạo theo từng chiếc cho các công trình cụ thể. Vì vậy khi thiết kế TTD trong các giai đoạn thiết kế ban đầu các kích thước cơ bản của máy phát điện tạm thời xác định sơ bộ theo kích thước các máy phát đã được chế tạo cuat các TTD có công suất và số vòng quay tương tự hoặc lựa chọn theo máy phát đã được chế tạo sẵn. Trong trường hợp lựa chọn máy

phát có sẵn trong bảng tra phải đảm bảo điều kiện tiêu chuẩn số vòng quay đồng bộ còn công suất máy phát có thể chọn với mức độ sai lệch không quá  $\pm 5\%$ .

$$N_{mf} = [N_{mf}] \pm 5\% ;$$

$$n_{mf} = [n_{mf}] ;$$

Trong trường hợp này đường kính lõi thép từ của rotor  $D_i$  ( trong thực tế khe hở giữa rotor và stator khoảng 15÷25 mm không phụ thuộc kích thước và công suất nên có thể xem như gần bằng đường kính trong của stator) giữ nguyên và hiệu chỉnh lại chiều cao lõi thép từ  $l_a$  theo tỷ lệ với công suất :

$$l_a = [l_a] \frac{N_{mf}}{[N_{mf}]} ; \quad D_i = [D_i]; \quad (1-3)$$

trong đó :  $N_{mf}$ ,  $[N_{mf}]$  - tương ứng là công suất máy phát thiết kế và công suất máy phát có sẵn trong bảng tra.;  $l_a$ ,  $[l_a]$  - tương ứng là chiều cao lõi thép từ của rotor máy phát thiết kế và máy phát có sẵn trong bảng tra.

Trong trường hợp máy phát thiết kế không thoả mãn các điều kiện tương tự kể trên thì cũng có thể sử dụng các công thức kinh nghiệm sản xuất của các công trình đã xây dựng để xác định kích thước cơ bản của máy phát và trong các giai đoạn tiếp theo sẽ chính xác hoá theo các điều kiện công nghệ cho từng công trình cụ thể.

Công suất toàn phần định mức của máy phát có thể xác định theo công thức:

$$S_{mf} = \frac{N_{mf}}{\cos \varphi} , \text{ MVA} \quad (1-4)$$

Công suất tính toán được điều chỉnh hệ số phụ thuộc và hệ số công suất tác dụng  $\cos \varphi$ :

$$S_o = k S_{mf} , \text{ MVA} \quad (1-5)$$

**Bảng 1- 1.**

|                |      |      |      |       |     |
|----------------|------|------|------|-------|-----|
| $\cos \varphi$ | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,95  | 1,0 |
| k              | 1,08 | 1,07 | 1,06 | 1,045 | 1,0 |

Công suất trên mỗi cực máy phát :

$$S^* = \frac{S_{mf}}{2p} , \text{ MVA} \quad (1-6)$$

$2p$  - số cực từ máy phát điện.

Chiều dài cung tròn vành bố trí cực rotor :

$$\tau^* = AS^{*\alpha} , \text{ m.} \quad (1-7)$$

Các hệ số :  $A$ ,  $\alpha$  - xác định theo bảng 1-2 phụ thuộc vào chế độ làm mát máy phát.

Đường kính rotor xác định :

$$D_i = \frac{\tau^* 2 p}{\pi}, m \quad (1-8)$$

Đường kính rotor  $D_i$  phải đảm bảo để vận tốc dài của các bộ phận quay lớn nhất không vượt quá trị số cho phép khi turbin ở trạng thái quay lồng:

$$D_i \leq \frac{60 V_p}{\pi k_p n_o} \quad (1-9)$$

trong đó:  $V_p$  - vận tốc dài quay lồng cho phép lớn nhất lấy bằng:  $V_p = 160$  m/s

khi  $S_{mf} \leq 175$  MW,  $V_p = 185$  m/s khi  $S_{mf} > 175$  MW;  $k_p = \frac{n_{ip}}{n_{io}}$  - hệ số quay lồng của

turbin;  $n_{ip}$  - số vòng quay quy dẫn ở chế độ lồng tốc;  $n_{io}$  - số vòng quay quy dẫn ở chế độ tính toán của tổ máy. Hệ số  $k_p$  có thể xác định trên đường đặc tính tổng hợp của turbin với độ mở lớn nhất của cánh hướng nước. Đối với turbin cánh quay thì  $n_{ip}$  xác định theo giá trị lớn nhất trong tất cả các chế độ cánh quạt với các góc đặt cánh khác nhau.

Để có thể tiến hành tháo lắp turbin mà không phải tháo dỡ stator máy phát thì đường kính tối thiểu của rotor phải thỏa mãn:

$D_i \geq D_g + 0,6$  m - đối với máy phát có giá chữ thập dưới.

$D_i \geq D_g + 0,2$  m - đối với máy phát có giá đỡ ổ trục dưới đặt trên nắp turbin.

$D_i \geq D_g + 2,0$ m- đối trường hợp cần tiến hành lắp ghép rotor trong hố máy phát.

$D_g$ - đường kính giếng turbin được xác định theo điều kiện thiết kế cụ thể, sơ bộ có thể lấy bằng đường kính trong  $D_b$  của stator turbin.

Chiều cao lõi thép từ xác định theo công thức:

$$l_a = \frac{30 C_A S_o}{\pi n_o D_i^2} \quad m ; \quad C_A = R/S^{*y} \quad (1-10)$$

và phải thỏa mãn điều kiện :  $l_a/\tau^* = 1,5 \div 4$ . Trong thực tế do điều kiện vận chuyển cuộn dây cùng lõi thép từ, chiều cao lõi thép không nên lấy quá 2,75 m và thường lấy theo các giá trị sau:

$l_a = 40; 80; 100; 110; 130; 140; 150; 175; 190; 210; 230; 250; 275$  cm.

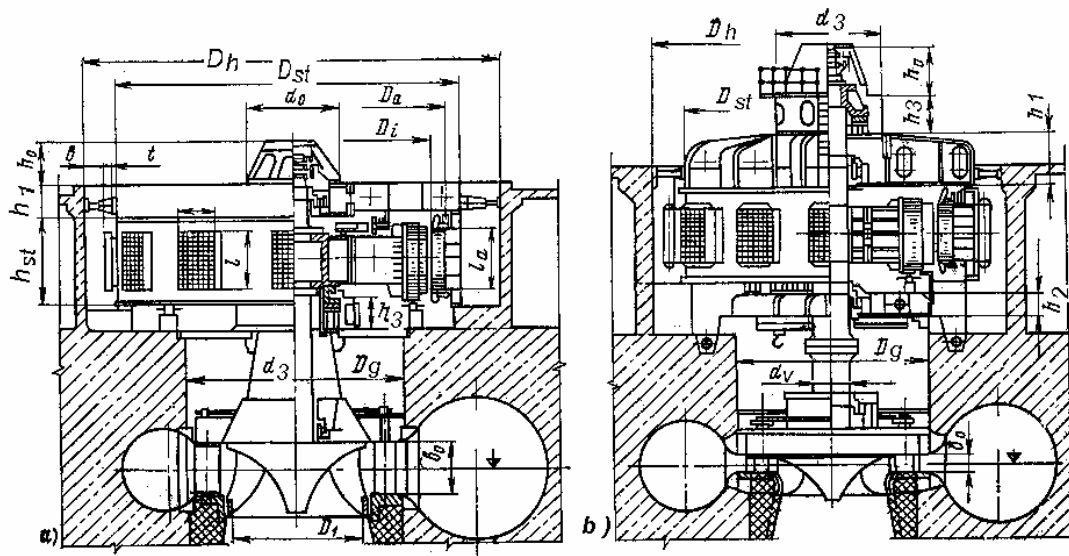
**Bảng 1-2.**

| Hệ số    | Làm mát không khí | Làm mát nước + không khí | Làm mát không khí |
|----------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| A        | 0.529             | 0.451                    | 0.432             |
| $\infty$ | 0.246             | 0.239                    | 0.239             |



|   |      |       |       |
|---|------|-------|-------|
| R | 18.8 | 8.9   | 8.6   |
| y | 0.18 | 0.105 | 0.105 |

Sau khi xác định được đường kính và chiều cao lõi thép từ rotor  $D_i$  và  $l_a$  có thể sơ bộ xác định các kích thước khác của máy phát theo bảng 1-3 và hình 1-5 trên cơ sở các kích thước cơ bản  $D_i$  và  $l_a$ . ( trong đó kích thước a - khoảng cách từ đỉnh giá chứa thập dưới đến đáy stator, c- chiều dài trục máy phát từ đáy giá chữ thập dưới đến bích nối với trục turbin.).



**Hình 1-5.** Các kích thước cơ bản của máy phát. a- kiểu ô, b- kiểu treo

Căn cứ vào tỷ số giữa  $D_i$  và  $l_a$ , tốc độ quay của máy phát để phân biệt máy phát kiểu ô hay kiểu treo:

Máy phát kiểu treo được sử dụng khi  $D_i/l_a < 4$ , còn máy phát kiểu ô được sử dụng khi  $D_i/l_a > 5$ . Trong khoảng  $D_i/l_a = 4 \div 5$  nếu tốc độ quay  $n_o > 150$  v/f - chọn máy phát kiểu treo, ngược lại chọn máy phát kiểu ô.

Ngày nay các máy phát kiểu ô công suất lớn, giá chữ thập dưới đỡ ở trục chắn của chúng thường đặt trên nắp turbin để giảm chiều cao phần dưới nước nhà máy TĐ.

Đường kính ngoài trục turbin được xác định theo công thức:

$$d_v = (12 \div 14) \sqrt[3]{N_{mf} / n_o} \quad , \text{ cm} \quad (1-11)$$

Đường kính trong trục turbin:

$$d_v^* = \sqrt[4]{d_v (d_v^3 - 113 N_{mf} / n_o)} \quad , \text{ cm} \quad (1-12)$$

trong đó công suất máy phát  $N_{mf}$ , kW,  $n_o$  - vòng / phút.

Đường kính trục lấy chắn 5 cm khi  $d_v = 60 \div 100$  cm, chắn 10 cm khi  $d_v > 10$  cm theo chiều tăng kích thước.

Trọng lượng toàn bộ máy phát điện sơ bộ có thể lấy bằng:

$$G_{mf} = \psi D_i l_a, \text{ tấn} \quad (1-13)$$

Trong đó hệ số  $\psi = 44 \div 50$  - đối với máy phát kiểu ô;  $\psi = 48 \div 58$  - đối với máy phát kiểu treo.

**Bảng 1-3.**

| T<br>T | Bộ phận           | Thông số              | Kí hiệu    | Kiểu máy phát                                                                      |                           |
|--------|-------------------|-----------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
|        |                   |                       |            | Kiểu Treo                                                                          | Kiểu Ô                    |
| 1      | Stator            | Đ.k ngoài lõi thép    | $D_a =$    | $D_i + (0.50 - 0.90 \text{ m})$                                                    |                           |
|        |                   | Chiều cao MF          | $h_{st} =$ | $l_a + 0.75 \text{ m}$ ( hoặc 1.5m)                                                |                           |
|        |                   | Đường kính MF         | $D_{st} =$ | $(1.15 + 0.0007n_o)D_i$ khi $n_o < 250$<br>$(0.92 + 0.0016n_o)D_i$ khi $n_o > 250$ | $(1.05 + 0.0017n_o)D_i$   |
| 2      | Giá chữ thập trên | Chiều cao             | $h_1 =$    | $(0.20 - 0.25)D_i$                                                                 | $(0.10 - 0.12)D_i$        |
|        |                   | Đường kính            | $D_1 =$    | $D_{st}$                                                                           |                           |
| 3      | Giá chữ thập dưới | Chiều cao             | $h_2 =$    | $(0.10 - 0.12)D_g$                                                                 | $(0.25 - 0.30)D_g$        |
|        |                   | Đường kính            | $D_2 =$    | $D_g + 0.4 \text{ m}$                                                              |                           |
|        |                   | Khoảng cách           | $a =$      | $(0.20 - 0.30) \text{ m}$                                                          | $(0.40 - 0.50) \text{ m}$ |
|        |                   | Khoảng cách trục      | $C =$      | $(0.80 - 1.00) \text{ m}$                                                          |                           |
| 4      | Ổ trục chặn       | Chiều cao             | $h_3 =$    | $(0.20 - 0.25)D_i$                                                                 | $(0.15 - 0.20)D_i$        |
|        |                   | Đường kính            | $D_3 =$    | $(0.4 - 0.5)D_i$                                                                   |                           |
| 5      | Chóp MF           | Chiều cao             | $h_o =$    | $(0.30 - 0.50) \text{ m}$                                                          |                           |
|        |                   | Đường kính            | $d_o =$    | $(0.20 - 0.25)D_i$                                                                 |                           |
| 6      | Hố MF             | Đường kính            | $D_h =$    | $(1.50 - 1.85)D_i$                                                                 | $(1.40 - 1.50)D_i$        |
|        |                   | Chiều dày máy làm mát | $t =$      | $(0.35 - 0.375) \text{ m}$                                                         |                           |
|        |                   | Khoảng cách đi lại    | $b >$      | $(0.40 - 0.50) \text{ m}$                                                          |                           |

Trong lượng của rotor cùng với trục thường chiếm 50-55% trong lượng chung của máy phát. Máy phát hiện nay có đường kính vỏ ngoài đạt đến 20 m, chiều cao 4-5 m và trọng lượng có thể đạt 2000 tấn.

Momen đà của của rotor máy phát có thể tính sơ bộ theo một số công thức kinh nghiệm, ví dụ :

$$GD^2 = 2,9D_i^4 l_a \varphi_i, \text{ T.m}^2. \quad (1-14)$$

trong đó:  $D_i, l_a$  - m ;  $\varphi_i$  - hệ số phụ thuộc vào số cực máy phát điện: với  $2p < 32$  chọn  $\varphi_i = 0,75$ , còn ngược lại xác định theo công thức kinh nghiệm gần đúng:

$$\varphi_i = 0,95 - 0,21 \sqrt{\frac{2p}{3,5\pi} - 0,2}$$

### 1.2.3. Các thiết bị cơ khí trong nhà máy thủy điện

Thiết bị cơ khí của TTĐ bao gồm các loại cửa van và các thiết bị nâng chuyển phục vụ cho việc đóng mở và lắp ráp sửa chữa chúng. Các thiết bị này bố trí tại cửa lấy nước đã được trình bày trong chương I phần I của giáo trình này.

#### 1. Cửa van trên đường ống dẫn nước turbin

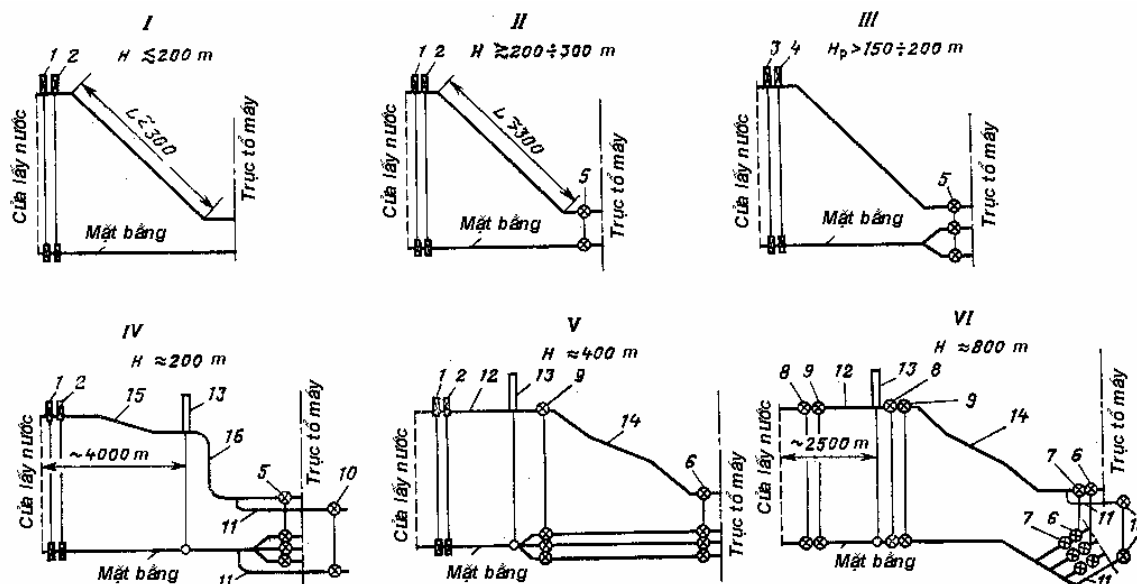
Trong các loại nhà máy thủy điện kiểu sau đập và đường dẫn với đường ống dài, trước buồng xoắn turbin còn có thể bố trí các cửa van trong trường hợp sử dụng đường ống rẽ nhánh hoặc TTĐ cột nước cao  $H > 200-300\text{m}$ .

Ở TTĐ cột nước cao, cửa van trước buồng xoắn có công dụng tránh cho cánh hướng nước phải chịu áp lực lớn khi ngừng làm việc, giảm tổn thất nước rò rỉ qua cánh hướng nước và cơ bản bảo vệ cánh hướng nước khỏi bị phá hủy do khí thực khi nước rò rỉ qua chúng với lưu tốc lớn. Khi bố trí cửa van trước buồng xoắn thì các cửa van này còn kết hợp làm nhiệm vụ bảo vệ tổ máy khỏi chế độ quay lồng khi hệ thống điều khiển chúng không làm việc. Đối với TTĐ có phương thức cấp nước độc lập, cửa van trước buồng xoắn được bố trí ở tất cả các trường hợp cột nước lớn hơn 300 m, hoặc đường ống dài trên 300-400 m. Trong trường hợp cột nước nhỏ hơn 200 m chỉ bố trí khi thời gian làm việc của turbin dưới 3000 giờ/ năm. Còn đối với TTĐ cấp nước theo nhóm với ống dẫn nước chung cho một số tổ máy thì cửa van được bố trí trên tất cả các ống rẽ nhánh. Trên hình 1-6 là sơ đồ bố trí các cửa van trên tuyến đường ống áp lực.

Van đĩa áp dụng với các đường ống có đường kính từ 0,5 ÷ 8,5 m, với đường kính nhỏ sử dụng cho các cột nước đến 600m, đường kính lớn hơn 4,0 m áp dụng cho cột nước dưới 170 -230m. Trên hình 1-7 là sơ đồ cấu tạo của các loại cửa van đĩa. Điểm đặc trưng của cấu tạo van đĩa là phần hộp van của nó giống như một đoạn ống hai đầu có bích để nối tiếp với đường ống bằng bu lông, trong hộp van là đĩa thép có gioăng chèn quay xung quanh trục và được điều khiển bằng thủy lực từ bên ngoài. Ở vị trí đóng mặt đĩa vuông góc với dòng chảy, trục quay của đĩa về nguyên tắc luôn nằm ngang. Trước và sau cửa van người ta bố trí ống cân bằng áp lực để giảm lực mở cửa van. Các loại van đĩa khác nhau cơ bản là hình dạng của đĩa van như thể hiện trên hình 1-7. Van đĩa đường kính không lớn lắm có thể làm bằng thép đúc kết hợp hàn, hộp van thường làm thành hai phần và hàn ghép lại với nhau. Ổ trục thường dưới dạng bạc đồng bôi trơn bằng mỡ. Van cầu thường sử dụng ở các TTĐ cột nước cao ( $H = 120 \div 1800 \text{ m}$ )., khi cột nước cao hơn 600 m chỉ sử dụng loại van này. Trên hình 1-8 là nguyên lý cấu tạo của các loại van cầu.

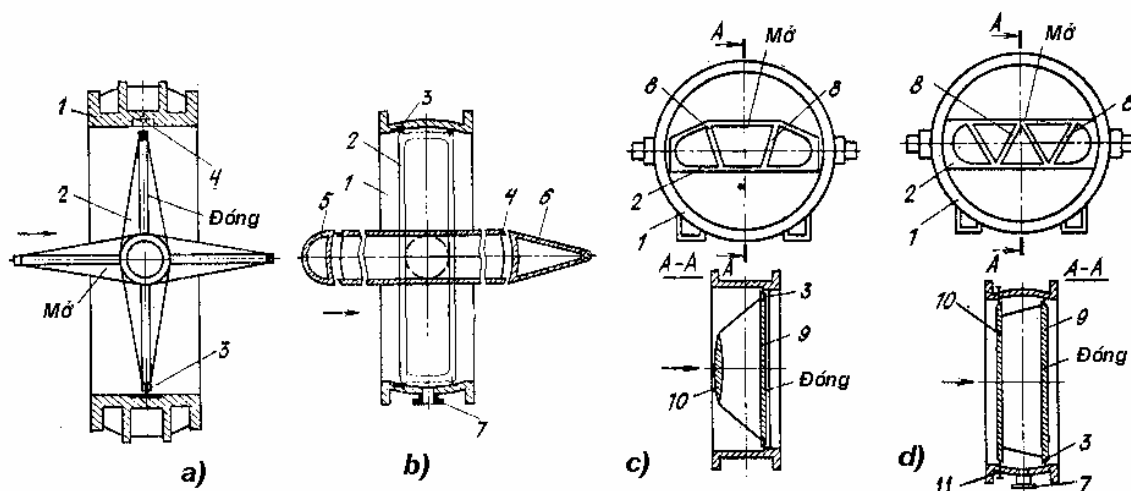
Đặc điểm cấu tạo cơ bản của van cầu là phần quay của nó có dạng như một đoạn ống. Khi mở phần này tạo với ống thành đoạn liên tục có đường kính cùng với đường kính ống nên không làm thay đổi hướng và độ lớn vận tốc khi qua nó, có nghĩa là tổn thất thủy lực sẽ không đáng kể. Các loại van cầu khác nhau ở kết cấu hộp van, phần

quay và hình thức chèn. Có ba loại cơ bản là: a - mặt van kiểu đĩa; b- mặt van hình cung; c- mặt van dạng hai đầu nằm trong hộp van. Loại mặt van hình đĩa có đường kính  $0,8 \div 4,2$  m sử dụng ở cột nước  $H = 170 \div 800$  m hoặc hơn, van hai mặt có



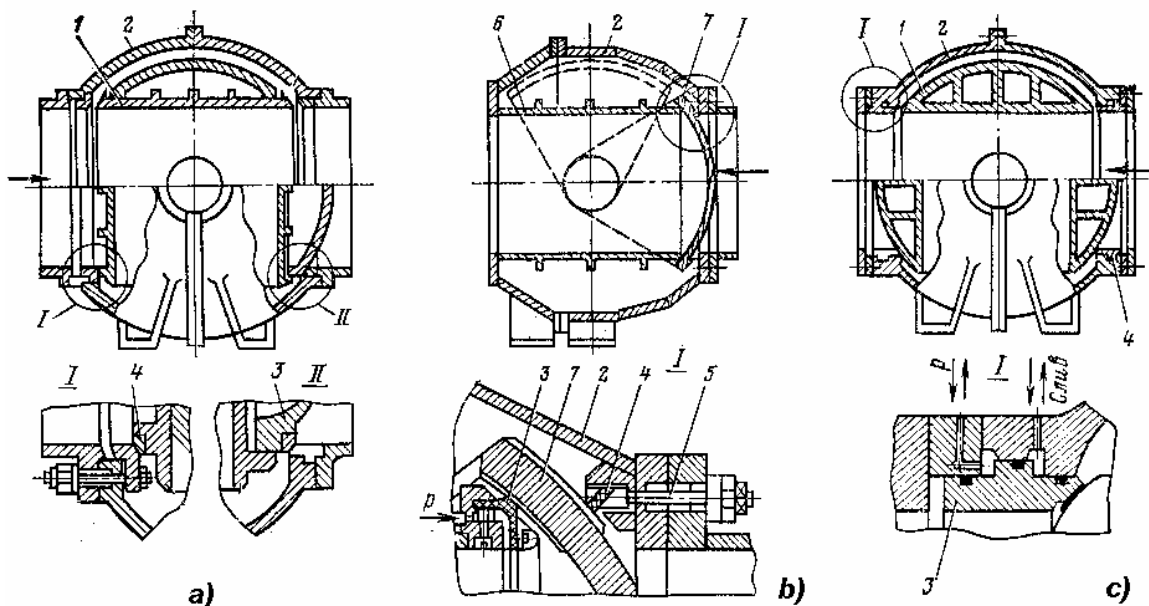
**Hình 1-6.** Vị trí các cửa van trên ống dẫn nước turbin.

I- Cột nước  $H < 200$  m; II-  $H > 200 \div 300$  m; III-  $H > 150 \div 200$  m; IV-  $H \approx 200$  m, đường ống dẫn nước hở trên mặt đất và dẫn nước turbin bằng đường hầm; V và VI-  $H \approx 400$  m và  $H \approx 800$  m, đường hầm dẫn nước và đường ống dẫn nước turbin để hở trên mặt đất; 1- van sửa chữa kiểu van phẳng; 2- van công tác kiểu van phẳng; 3- van sửa chữa kiểu van phẳng hoặc van đĩa; 4- van công tác kiểu van phẳng hoặc van đĩa; 5- van công tác kiểu van cầu hoặc van đĩa; 6- van công tác kiểu van cầu; 7- van sửa chữa kiểu van cầu; 8- van sửa chữa kiểu van đĩa; 9- van công tác kiểu van đĩa; 10- van côn trên ống xả nước; 11- ống xả nước; 12- đường hầm dẫn nước áp lực; 13- tháp điều áp; 14- ống dẫn nước turbin đặt hở; 15- ống dẫn nước đặt hở; 16- đường hầm dẫn nước turbin.



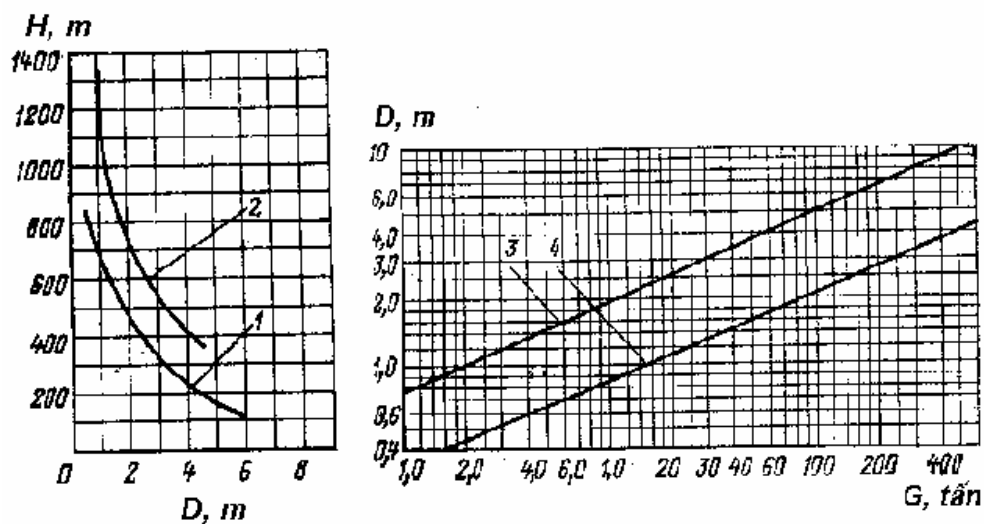
**Hình 1-7.** Nguyên lý cấu tạo các loại van đĩa.

a- Mặt đĩa lõi; b- mặt đĩa phẳng; c- đĩa dạng khung dầm với một mặt chịu áp; d- d- dạng khung dầm với hai mặt đối xứng. 1- hộp van; 2- đĩa; 3, 4- các loại gioăng chèn; 5, 6 – bộ phận hướng dòng đặt cố định; 7- rãnh thoát nước rò rỉ; 8 - dầm gân; 9, 10 - thép mặt; 11- gioăng nối ống.



**Hình 1-8.** Nguyên lý cấu tạo các loại van cầu.

a - mặt van kiểu đĩa; b- mặt van hình cung; c- mặt van dạng hai đầu nằm trong hộp van. 1- phần quay; 2- hộp van; 3- gioăng chèn; 4- gioăng tháo lắp; 5- vít điều khiển gioăng tháo lắp; 6- ống cố định; 7- mặt van quay.



**Hình 1- 9.** Đồ thị xác định phạm vi ứng dụng, trọng lượng van đĩa và van cầu

1 - Vùng làm việc van đĩa; 2- vùng làm việc van cầu; 3- trọng lượng van đĩa  $H = 25 \div 120m$ ; 4- trọng lượng van cầu  $H = 280 \div 950 m$ ;

đường kính  $0,8 \div 3,15$  m sử dụng ở cột nước  $H = 45 \div 310$  m, van hình cung với đường kính  $0,8 \div 3,15$  m sử dụng ở cột nước  $H = 115 \div 800$  m. Kích thước và trọng lượng cũng như giá thành chế tạo van cầu lớn hơn đáng kể so với van đĩa. Trên hình 1-9 là các đồ thị xác định gần đúng phạm vi sử dụng và trọng lượng của các loại van này.

## **2. Cửa van cửa ra ống hút.**

Cửa van tại cửa ra ống hút với mục đích sửa chữa turbin, khi đó cần phải đóng cửa van này để bơm cạn nước trong buồng xoắn và ống hút. Cửa van này thường là van trượt phẳng một tầng hoặc nhiều tầng. Vị trí của nó có thể ở cửa ra, giữa hoặc đầu đoạn loe của ống hút.

Thông thường người ta sử dụng một hoặc hai bộ cửa van này cho toàn bộ nhà máy tùy theo số lượng tổ máy. Việc đóng mở cửa van này có thể bố trí cầu trục ở phía trên ống hút, thường là cầu trục kiểu chân dê hoặc tời di động trên dầm cố định.

## **3. Thiết bị nâng chuyển.**

Thiết bị nâng chuyển chính trong nhà máy thủy điện là cầu trục phục vụ cho lắp ráp và sửa chữa tổ máy.

Thông thường cầu trục chính bố trí trong gian máy, tầm hoạt động của nó chung cho toàn bộ gian máy. Trong một số trường hợp, phục vụ cho tháo lắp van trước buồng xoắn người ta sử dụng cầu trục riêng.

Cầu trục chính có tải trọng rất lớn, có thể đến 1000 tấn, tuy nhiên tùy vào trọng lượng vật cầu lớn nhất (rotor) và kích thước nhà máy mà có thể sử dụng cầu trục kép (2 cái). Trên hình 1-10 là ví dụ về hình dạng và kích thước của cầu trục 250/30 T, móc chính có sức nâng 250 T, móc phụ - 30 T.

### **1.2.4. Thiết bị điện**

Thiết bị điện của trạm thủy điện bao gồm: dây dẫn điện từ máy phát, máy biến áp chính trạm phân phối điện, hệ thống điện tự dùng, hệ thống đo lường kiểm tra và điều khiển, thiết bị điều khiển trung tâm.

Điện áp đầu ra máy phát tùy thuộc vào công suất có thể từ  $3,5 \div 24$  KV, việc truyền tải từ máy phát điện đến máy biến áp với dòng điện lớn đòi hỏi dây dẫn tiết diện lớn và tổn thất điện năng cũng lớn, hơn nữa dây dẫn đắt tiền nên đòi hỏi máy biến áp phải bố trí thật gần máy phát điện. Với công suất máy phát dưới 100 MVA đoạn dây dẫn này thường để trần, khi công suất lớn hơn chúng thường là các cáp điện chuyên dùng.

*Máy biến áp chính* nhằm nâng cao điện áp để tải điện đi xa. Phụ thuộc vào hệ thống mà TTD cung cấp, điện áp cao thế của máy biến áp (MBA) có thể 35, 110, 220, 500 KV hoặc cao hơn. Máy biến áp chính về nguyên tắc được bố trí ngoài trời, chúng đòi hỏi phải làm mát bằng không khí hoặc bằng nước.

Cấu tạo các bộ phận chính của máy biến áp thể hiện trên hình 1-11, a. Các bộ phận chủ yếu gồm vỏ máy chứa dầu cách điện 1 trong đó là các cuộn dây và lõi thép từ (ruột máy), các đầu dây dẫn vào và ra với các sứ cách điện cao thế và hạ thế 23, các

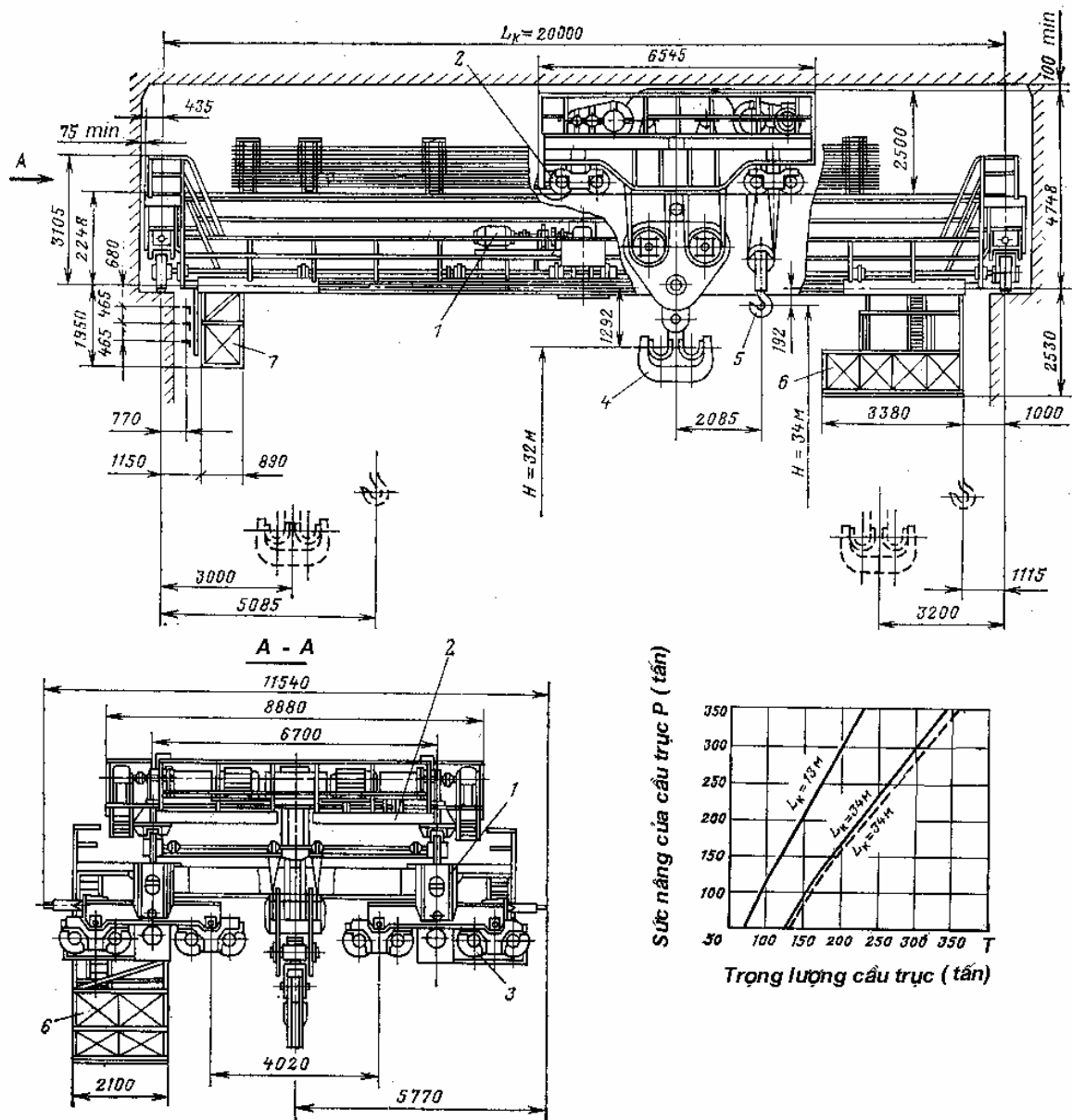
máy làm mát bằng không khí 4 với các quạt gió tăng cường 6, thùng dầu phụ 5 với ống đo dầu 7 đảm bảo cho dầu trong máy biến áp có áp suất ổn định trong quá trình làm việc. Máy biến áp đặt trên hệ thống đường ray chung cho toàn trạm và có thể vận chuyển vào gian máy để sửa chữa. Máy biến áp công suất nhỏ hơn 50 MVA thường đặt trên bốn bánh xe, với MBA công suất trung bình và lớn đặt đặt trên nhiều xe lăn, mỗi xe có bốn bánh. Để vận chuyển MBA vào gian lắp ráp người ta di chuyển đến chỗ chuyển hướng của đường ray, dùng kích thủy lực nâng MBA lên và quay chiều các xe lăn theo hướng ray cần di chuyển. Chiều rộng đường ray thường lấy bằng chiều rộng đường ray thông dụng của giao thông còn chiều khoảng cách giữa các bánh xe hoặc các xe lăn phụ thuộc vào kích thước cầu trục có thể là 2000, 2500, 3000 mm.

Máy biến áp được phân thành hai loại theo số cuộn dây: hai cuộn dây và ba cuộn dây. Loại hai cuộn dây dùng để tăng điện áp máy phát lên một cấp điện áp, còn MBA ba cuộn dây tăng điện áp lên hai cấp khác nhau cung cấp cho hai hệ thống khác nhau. Theo số pha người ta chế tạo máy biến áp ba pha và máy biến áp một pha.

Nhãn hiệu của máy biến áp phải thể hiện công suất, điện áp, phương pháp làm mát, số pha và khả năng lắp đặt ngoài trời.

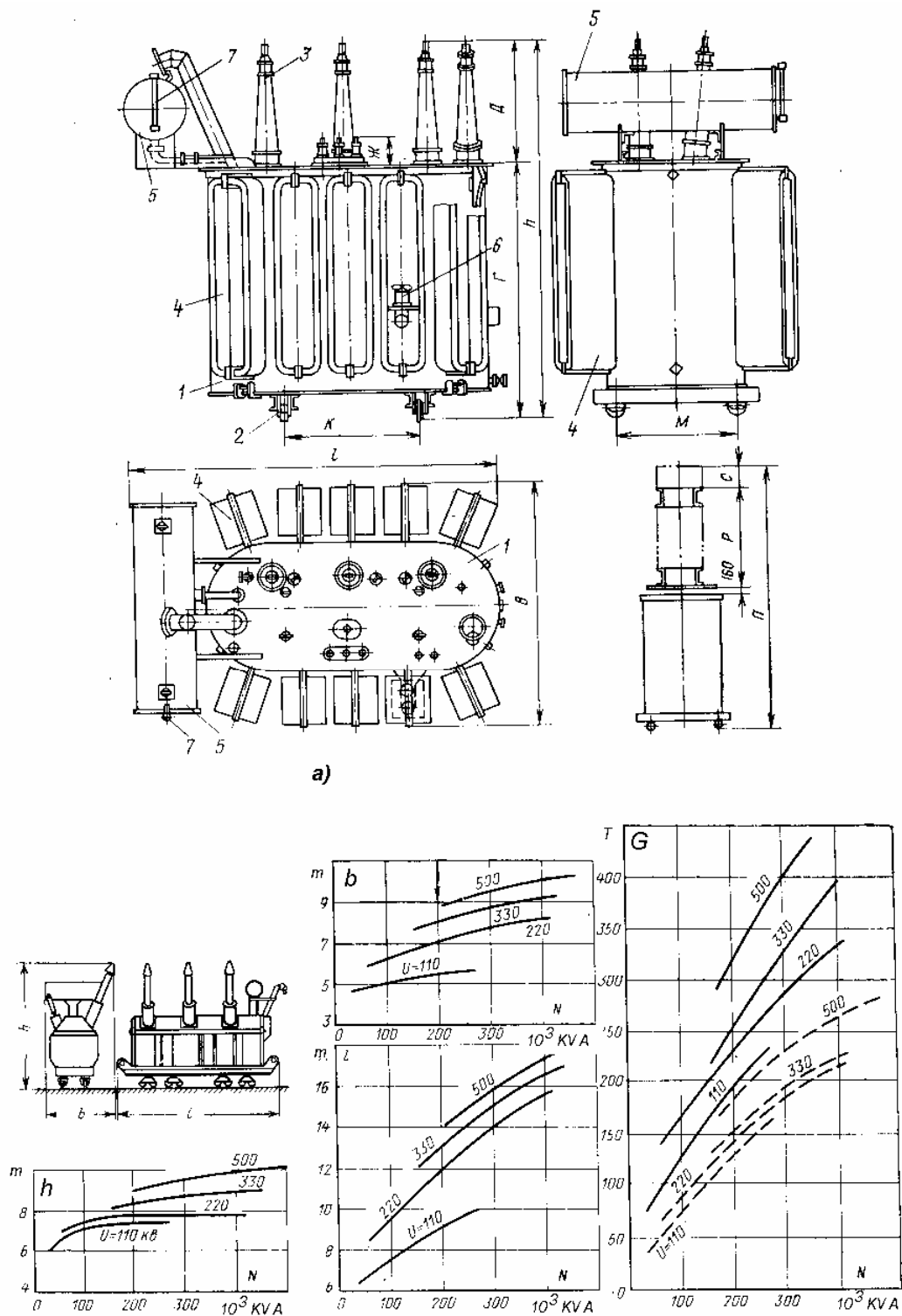
Khả năng vượt tải tạm thời của MBA trong một số ít giờ có thể đạt  $30 \div 40\%$ , còn khả năng vượt tải lâu dài có thể từ  $5 \div 10\%$ .

Kích thước sơ bộ của MBA có thể xác định theo các đồ thị hình 1-11, b: đường liền nét trong biểu đồ xác định trọng lượng là trọng lượng toàn bộ MBA, còn đường không liền nét là trọng lượng phần ruột. Lượng dầu sơ bộ tính ở mức 1 kg cho 1 KVA công suất.



**Hình 1-10.** Cầu trục điện sức nâng 250/30 T và đồ thị xác định trọng lượng cầu trục  
 1- cầu trục; 2- xe nâng móc chính và móc phụ; 3- bánh xe cầu trục; 4- móc chính; 5- móc phụ; 6- buồng điều khiển; 7- động di chuyển cầu trục.





**Hình 1-11.** Các bộ phận và kích thước chủ yếu máy biến áp ba pha.

a- Máy biến áp; b- đồ thị xác định sơ bộ các kích thước và trọng lượng máy BA. 1- vỏ; 2- bánh xe; 3- sứ cách điện; 4- máy làm mát; 5- thùng dầu phụ; 6- quạt gió; 7- ống đo dầu

*Hệ thống điện tự dùng* phục vụ cho sản xuất của bản thân TTD chiếm khoảng 0,2 ÷ 1,0% điện năng sản xuất. Các hệ tự dùng được chia làm ba loại : Loại không cho phép mất điện khi làm việc (các hệ thống dầu, cấp nước kỹ thuật, khí nén, kích từ, phòng hoả, điều khiển máy cắt & cầu dao, điều khiển các cửa van công tác, chiếu sáng trong nhà); loại cho phép mất điện tạm thời trong thời gian ngắn ( hệ thống tháo nước tổ máy, thoát nước rò rỉ, chiếu sáng ngoài trời...), loại cho phép mất điện dài trong một thời gian nhất định ( hệ thống lọc và xử lý dầu, các xưởng sửa chữa, các kho chứa...).

Hệ thống điện tự dùng tùy theo từng loại thiết bị sử dụng điện áp từ 220 V đến 10 KV. Vì vậy cần có máy biến áp hạ thế nối trực tiếp máy phát hoặc từ hệ thống thanh góp điện áp máy phát.

Trong nhà máy điện bố trí các thiết bị phân phối điện áp máy phát. Tất cả các thiết bị này về nguyên tắc được lắp đặt theo bộ ( cụm) để khi sửa chữa có thể thay thế dễ dàng. Chúng được lắp đặt dọc theo toàn bộ chiều dài nhà máy, trong các gian có chiều cao 4-5m, chiều rộng 6-8 m.

Trạm phân phối điện áp cao được bố trí ngoài trời, sơ đồ đầu dây và vị trí và thiết bị của nó sẽ được trình bày trong mục 1-7.

#### **1.2.5. Các hệ thống thiết bị phụ**

Các hệ thống thiết bị phụ bao gồm: Hệ thống dầu, cấp nước kỹ thuật, khí nén, phòng hoả, tháo nước sửa chữa và rò rỉ sẽ được trình bày trong 1-6 dưới đây.

### **1.3. KẾT CẤU VÀ KÍCH THƯỚC PHẦN DƯỚI NƯỚC NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN**

#### **1.3.1. Các kết cấu phần dưới nước của nhà máy**

##### **1. Thiết bị bố trí phần dưới nước nhà máy**

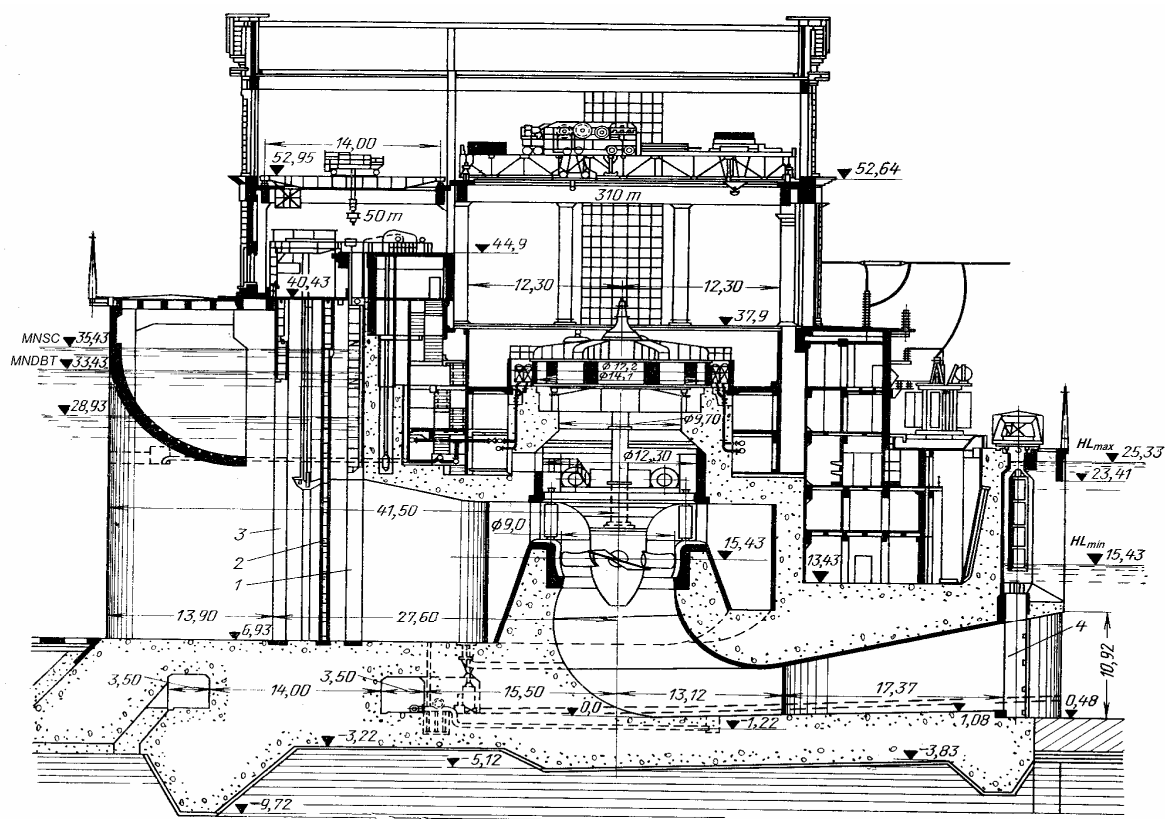
Dọc theo chiều dài nhà máy (vuông góc với chiều dòng chảy), phần dưới nước gồm nhiều khối turbin giống nhau và ngoài cùng là sàn lắp ráp. Tùy điều kiện địa chất nền và chiều dài, toàn bộ nhà máy có thể là một khối liền hoặc cách nhau bằng những khe lún ngang cắt nhà máy thành từng đoạn. Trong mỗi đoạn gồm từ một hoặc một số tổ máy, riêng phần sàn lắp ráp do chịu tải trọng khác nên thường được tách riêng khỏi các khối turbin. Phần dưới nước tính từ dưới lên có tầng ống hút, tầng turbin. Về phía thượng lưu trước ống hút thường bố trí một số hành lang như hành lang tháo cạn nước buồng xoắn và ống hút, hành lang tập trung nước thấm, hành lang phụ vữa xi măng và kiểm tra.

Ở tầng turbin, ngoài turbin còn đặt các thiết bị phụ của trạm thủy điện, các hệ thống này nhằm bảo đảm sự làm việc bình thường của các thiết bị chính: hệ thống thiết bị cung cấp dầu mỡ, hệ thống thiết bị cung cấp nước kỹ thuật, hệ thống thiết bị tháo nước sửa chữa tổ máy, hệ thống tiêu nước nhà máy, các hệ thống cấp điện. Ngoài ra còn bố trí các kho chứa và một số phòng phụ, máy tiếp lực và cơ cấu điều chỉnh.

Dưới sàn lắp ráp thường bố trí các xưởng, kho, các phòng a xít, ác quy, máy bơm, giếng tập trung nước.

##### **2. Cốt kết cấu chủ yếu phần dưới nước**

Phần dưới nước gồm các bộ phận dẫn nước (buồng xoắn, ống hút, đường ống turbin) hoặc kênh xả đối với tua bin xung kích. Tùy thuộc vào loại nhà máy và loại tua bin phần dưới nước có khác nhau. Đối với trạm thủy điện ngang đập phần dưới nước của nhà máy ngoài buồng xoắn, ống hút còn có cửa lấy nước liên kết với nhà máy, dẫn



**Hình 1-12.** Mặt cắt ngang nhà máy thủy điện ngang đập

nước trực tiếp vào buồng xoắn. Trạm thủy điện sau đập và đường dẫn phần dưới nước chủ yếu là buồng xoắn và ống hút, nước vào buồng xoắn qua đường ống áp lực đặt trong thân đập hoặc đường ống áp lực đặt lộ thiên (nhà máy thủy điện đường dẫn). Khi nhà máy thủy điện lắp tua bin xung kích gáo thì phần dưới nước của nhà máy đơn giản vì không có buồng xoắn turin và hình dạng phức tạp của ống hút, nó chỉ là kênh xả dẫn nước ra hạ lưu.

Điều kiện địa chất nền có ảnh hưởng rất lớn đến kích thước và hình dạng phần dưới nước của nhà máy nhất là bản đáy của tổ máy. Khi nhà máy xây trên nền đá có cường độ chịu lực cao thì giảm được chiều dày bản đáy, giảm được thép gia cố nền, ngược lại xây trên nền đất yếu thì độ dày bản đáy của nhà máy rất lớn cần gia cố cốt thép nhiều. Trong thực tế xây dựng do điều kiện địa chất, nhà máy cần đặt sâu xuống tầng đá gốc thì phải dùng ống hút cong có độ cao lớn mới đạt được các tham số điện năng của tổ máy, cũng có thể dùng ống hút cong có độ cao thấp nhưng phải hạ cao trình đặt máy xuống hoặc sử dụng turin loại có tỷ tốc cao phù hợp với cột nước trong

trường hợp đó. Hình 1-12. thể hiện mặt cắt ngang nhà máy thủy điện ngang đập xây trên nền đất qua đó ta có thể thấy được kết cấu cơ bản phần dưới nước của nhà máy

### 1.3.2. Nguyên tắc xác định kích thước và các cao trình chủ yếu

#### 1. Kích thước chiều dài đoạn tổ máy (vuông góc với dòng chảy)

Kích thước phần dưới nước của nhà máy thủy điện có quan hệ đến đường kính turbin  $D_1$ , chiều cao hút  $H_s$ , hình dạng và kích thước ngoài buồng xoắn, ống hút (hoặc là máng xả nước khi dùng turbin xung kích).

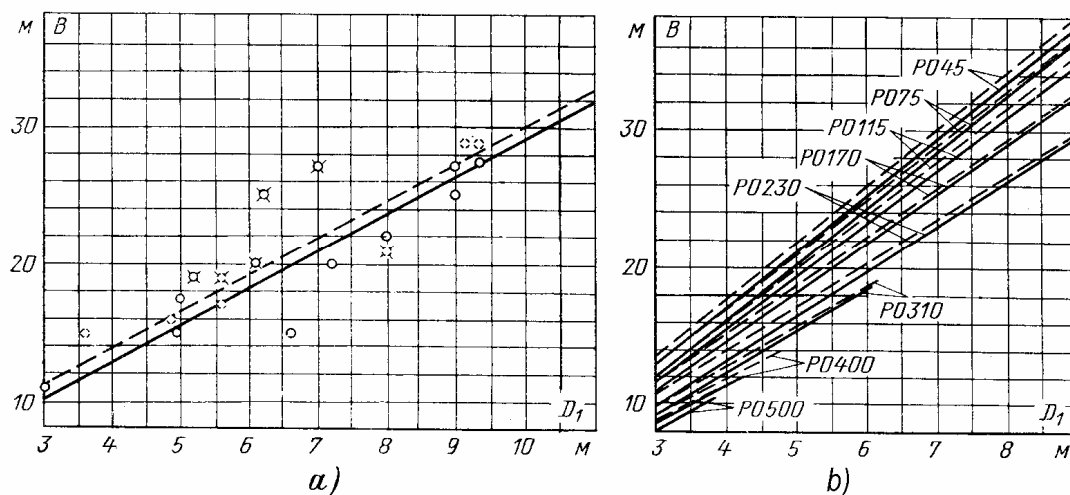
Với nhà máy thủy điện ngang đập buồng xoắn turbin, ống hút, cửa lấy nước có ảnh hưởng rất lớn đến kích thước phần dưới nước. Cửa lấy nước nhà máy thủy điện ngang đập nối trực tiếp với buồng xoắn. Ngoài ra điều kiện địa chất nền cũng ảnh hưởng đến hình dạng và kết cấu phần dưới nước của nhà máy.

Trong các bộ phận dưới nước của nhà máy thủy điện thì kích thước ngoài của buồng xoắn thường là lớn nhất. Do đó, chiều dài đoạn tổ máy được xác định trên cơ sở kích thước ngoài của buồng xoắn turbin và các mô trụ bố trí giữa các tổ máy.

#### a) Xác định sơ bộ chiều dài đoạn tổ máy ( $l$ )

Chiều dài đoạn tổ máy  $l$  có quan hệ đến loại turbin, đường kính bánh xe công tác  $D_1$  và cột nước của trạm thủy điện.

Đối với nhà máy thủy điện ngang đập không kết hợp xả lũ trong đoạn tổ máy với turbin hướng trục, thì chiều dài đoạn tổ máy thường từ  $(2,9 \div 3,2) D_1$ , khi đường kính nhỏ thì lấy giá trị lớn và ngược lại. Đối với turbin tâm trục chiều dài đoạn tổ máy phụ thuộc vào tỷ tốc  $n_s$  và nằm trong giới hạn từ  $(2,7 \div 4,2) D_1$ , khi tỷ tốc  $n_s$  tăng lấy trị số lớn.



**Hình 1-13.** Sơ đồ sơ bộ xác định chiều dài đoạn tổ máy ( $l$ ) của nhà máy thủy điện.

a). nhà máy thủy điện ngang đập không kết hợp xả lũ qua tổ máy ;

b) nhà máy thủy điện sau đập và đường dẫn.

Tổ máy thủy điện với buồng xoắn turbin bằng bê tông có góc bao  $\beta = 180 \div 192^\circ$  do đó tổ máy bố trí không đối xứng thì nhất thiết phải áp dụng ống hút cong không đối

xúng trên mặt bằng. Trong một số trường hợp đặc biệt, ví dụ dùng buồng turbin hình vuông trạm thủy điện cột nước thấp hoặc ống hút kiểu loe thì chiều dài đoạn tổ máy sẽ tăng lên.

Đối với nhà máy thủy điện kết hợp xả lũ qua đoạn tổ máy thì chiều dài  $l$  của đoạn tổ máy thường tăng lên với mục đích bố trí đường tràn xả lũ.

*b) Xác định kích thước chiều dài đoạn tổ máy  $l$  dựa vào kích thước bao ngoài lớn nhất của buồng xoắn tua bin.*

Ở trạm thủy điện cột nước thấp, lưu lượng lớn với buồng xoắn bê tông thì kích thước chiều dài đoạn tổ máy thường do kích thước buồng xoắn quyết định, đây là kích thước bao ngoài lớn nhất bảo đảm cho đoạn tổ máy bố trí các thiết bị (Hình 1-14.I)

Ở trạm thủy điện cột nước trung bình, kích thước đoạn tổ máy thường xác định bởi kích thước mặt bằng vòng ngoài buồng xoắn, đồng thời xem xét việc bố trí một số thiết bị phụ phục vụ cho vận hành tổ máy, các mô trụ bố trí giữa các tổ máy (Hình 1-14.III)

Ở trạm thủy điện cột nước cao, do lưu lượng nhỏ, kích thước mặt bằng của đường bao buồng xoắn nhỏ, do đó chiều dài đoạn tổ máy phụ thuộc vào kích thước mặt bằng của máy phát, vị trí bố trí các thiết bị ở tầng máy phát và lối đi lại để bảo đảm vận hành bình thường.

- Ở những trạm thủy điện đường dẫn cột nước cao, dùng ống hút hình loa, buồng xả nước có mặt cắt hình vuông với chế độ thủy lực có áp hoặc không có áp thì kích thước chiều dài đoạn tổ máy không được nhỏ hơn  $4D_1$  (Hình 1-14.IV)

- Trạm thủy điện lắp turbin xung kích, khi xác định kích thước phần dưới nước khác hẳn với phương pháp đã trình bày ở trên. Bởi vì, loại turbin này không có buồng xoắn và ống hút, cuối đường ống áp lực là vòi phun, nước từ turbin chảy ra dưới dạng tự do. Vì vậy, kích thước đoạn tổ máy của loại turbin này xác định trên cơ sở bố trí các thiết bị phụ và các yêu cầu khác để đảm bảo vận hành tổ máy (Hình 1-14.V)

- Đối với tổ máy turbin cáp xun kết cấu phần dưới nước của loại này bao gồm bản đáy, các trụ đứng. Giữa các trụ đó bố trí buồng tổ máy và các phòng đặt tua bin phụ (Hình 2-3.VI). Kích thước đoạn tổ máy của loại turbin này được xác định trên cơ sở chiều rộng buồng dẫn nước trong đó đặt tổ máy.

Qua phân tích các trạm đã xây dựng và các trạm đang thiết kế dùng turbin cáp xul cho phép xây dựng các công thức kinh nghiệm để xác định kích thước cơ bản của tổ máy và phần qua nước của nó.

+) Khi nối trực tiếp ( $n_{mf} = n_{tb}$ ) đường kính hộp máy phát có thể nằm trong phạm vi từ  $(1,14 \div 1,16) D_1$ .

+) Mặt cắt cửa vào của buồng dẫn nước có dạng hình vuông, diện tích tiết diện của nó có thể tính theo công thức (m2):

$$F = \frac{Q}{0,8 + 0,1\sqrt{H}} \quad (1-15)$$

trong đó :  $Q$ -lưu lượng qua tua bin ( $m^3/s$ );  $H$ - cột nước của trạm

Chiều dài đoạn tổ máy  $l = (1,15 \div 1,3)D_1$

Diện tích tiết diện mặt cắt cửa ra của tổ máy có thể tính theo công thức (m2):

$$F = \frac{Q}{0,8 + 0,3\sqrt{H}} \quad (1-16)$$

Ở tầng ống hút về phía hạ lưu nhà máy thường được bố trí các van sửa chữa để sửa chữa tổ máy khi cần thiết. Ở những trạm thủy điện kết hợp xả lũ qua tổ máy các van không chế lưu lượng tràn cũng bố trí ở tầng ống hút về phía hạ lưu. Tất cả các loại van đó đều dùng cầu trục riêng, điều khiển bằng động cơ điện hoặc bằng hệ thống thủy lực.

Từ hình 1-14. cho thấy có thể bố trí cửa van trong hành lang tháo lũ và van sửa chữa cuối ống hút. Nếu diện tích tầng ống hút rộng và cao trình mực nước hạ lưu cao nhất cho phép thì bố trí van như hình 1-14.VIII

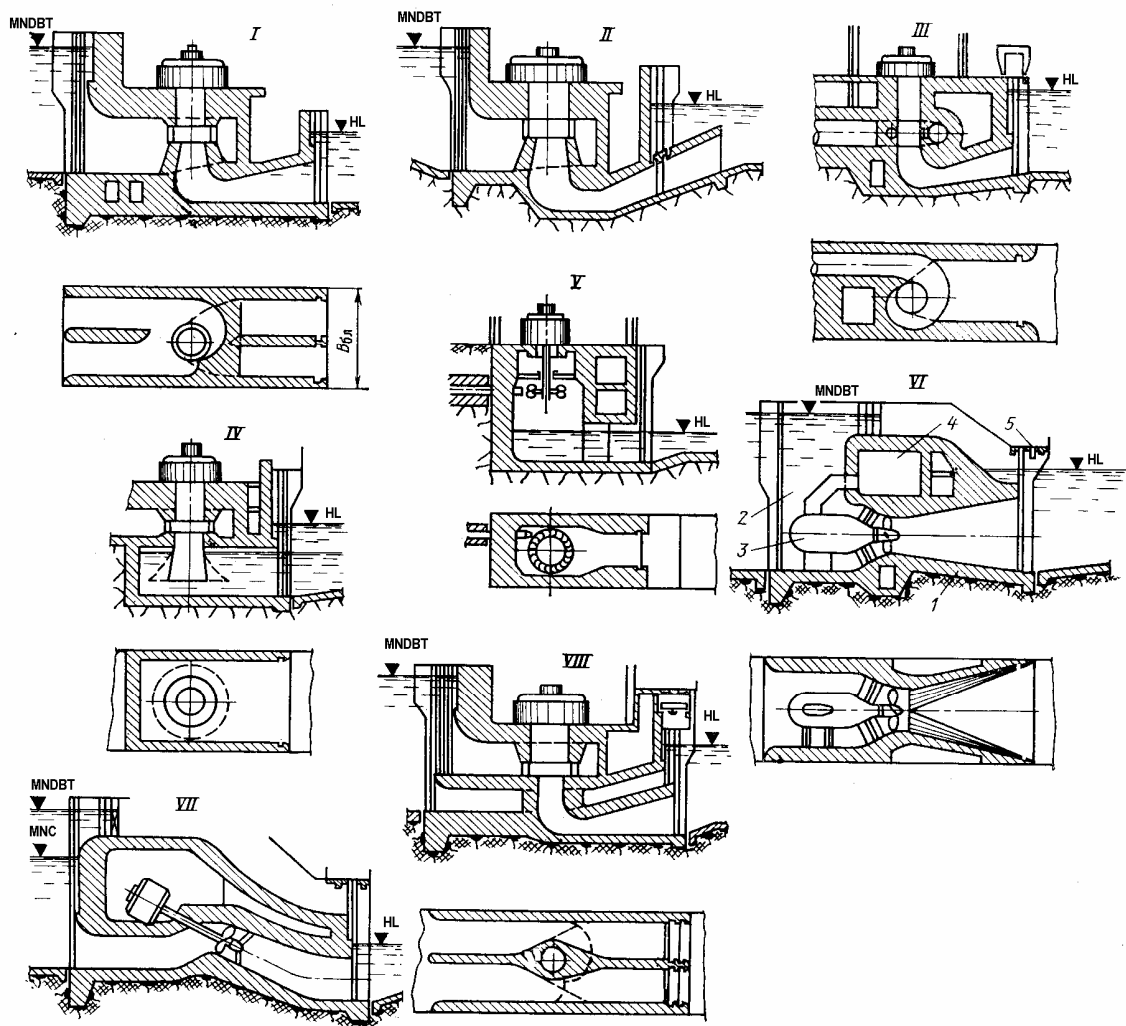
Khi đoạn loe của ống hút tương đối dài với mục đích giảm chiều dài trụ pin, người ta có thể bố trí rãnh van sửa chữa ở đoạn loe và dùng một dầm dầy lại. Khi muốn thả van sửa chữa xuống thì trước tiên phải cẩu dầm đó ra Hình 1-14.II

Số lượng cửa van sửa chữa tùy thuộc vào số tổ máy ở trạm, song thông thường người ta quy định đóng từ một đến hai tổ máy cùng một lúc. Sự phân chia trụ pin trong ống hút phải có khoảng cách giống nhau để tiện việc chế tạo cửa van. Trong quá trình vận hành cửa van sửa chữa thường để ở một nơi thuận tiện về phía hạ lưu ở tầng ống hút.

## 2. Khi kích thước chiều ngang đoạn tổ máy (song song dầm chảy)

Chiều ngang đoạn tổ máy phần dưới nước xác định chủ yếu trên cơ sở kích thước cửa lấy nước, buồng xoắn và chiều dài ống hút. Đối với trạm thủy điện ngang đập có công suất lớn, nếu chiều dài đoạn tổ máy lấy theo trị số gần đúng từ  $(2,9 \div 3,2)D_1$  thì chiều ngang bản đáy có thể lấy từ  $(6 \div 8)D_1$ .

Ở trạm thủy điện sau đập và đường dẫn cột nước trung bình dùng turbine tâm trục trực đứng, khi chiều dài đoạn tổ máy lấy theo trị số gần đúng từ  $(2,7 \div 4,2)D_1$  thì chiều ngang bản đáy có thể lấy từ  $(6 \div 7)D_1$ . Các trị số trên chỉ gần đúng để xác định sơ bộ kích thước ban đầu.

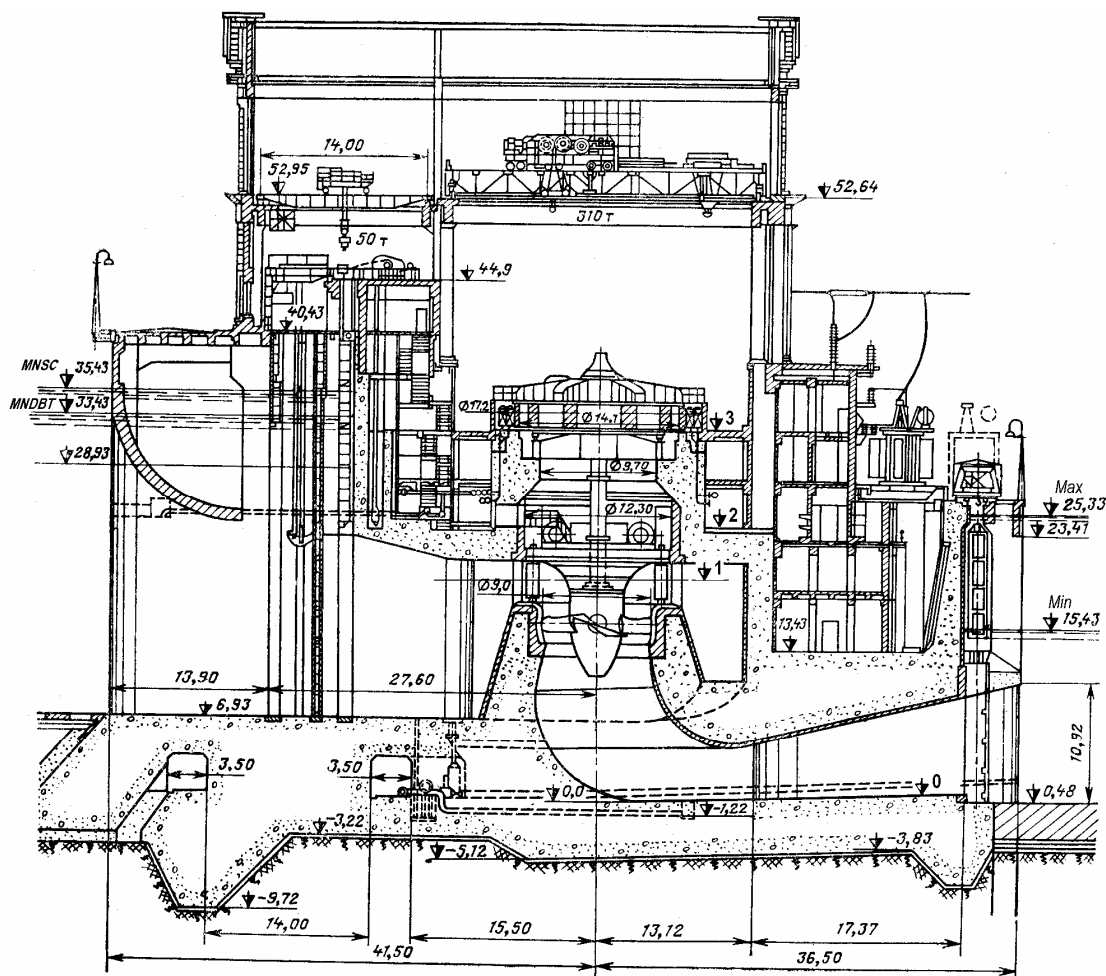


**Hình 1-14.** Kết cấu phần dưới nước của nhà máy thủy điện với các loại tua bin khác nhau

### 3. Cốc cao trởnh phần dưới nước nhà mỗy

Chiều cao phần dưới nước nhà máy được tính từ cao trình tâm đáy ống hút đến vòng tựa stato máy phát bao gồm: chiều dày bản đáy nhà máy, chiều cao loại ống hút đã chọn, chiều dày lớp bê tông của buồng xoắn, chiều cao từ cao trình sàn turbine đến cao trình đáy stato máy phát. Hình 1-15. thể hiện các cao trình chủ yếu phần dưới nước của nhà máy thủy điện

- *Cao trình lắp turbine VI (cao trình lắp máy)* là một trong những cao trình chính để làm cơ sở xác định các cao trình khác của phần dưới nước nhà máy thủy điện. Cao trình này chủ yếu được quyết định bởi mực nước tính toán hạ lưu nhỏ nhất và độ cao hút  $H_s$ . Các thông số này đã nêu ở phần thiết bị, song khi xác định cao trình này cần phải xem lòng dẫn hạ lưu có bị xói sâu trong quá trình vận hành làm cho mực nước hạ lưu giảm xuống không bảo đảm điều kiện tính toán ban đầu.



**Hình 1-15.** Mặt cắt ngang của nhà máy thủy điện thể hiện các cao trình chủ yếu phần dưới nước .

- **Cao trình đáy ống hút  $V_0$ :** khi đã xác định được cao trình lắp turbin  $\nabla 1$  lấy cao trình này làm chuẩn, căn cứ kích thước ống hút đã chọn ta tính được cao trình đáy ống hút. Cao trình này phải đảm bảo miệng ống hút ngập dưới mực nước hạ lưu một đoạn 0,5 m. Chiều dày bản đáy phần dưới nước nhà máy tùy thuộc vào điều kiện địa chất nền thông qua tính toán để xác định.

- **Cao trình sàn turbin  $\nabla 2$ :** cao trình này có liên quan đến lớp bê tông của buồng xoắn, độ dày của lớp bê tông này thông qua tính toán kết cấu mới xác định được, song trong thiết kế sơ bộ có thể lấy như sau: đối với buồng xoắn kim loại độ dày thường 0,8÷1,0 m ; đối với buồng xoắn bê tông cốt thép độ dày thường 1,2÷1,5 m .

- **Cao trình đáy stato máy phát  $\nabla 3$ :** đây là khoảng không gian của tầng turbin có chiều cao từ cao trình sàn turbin đến cao trình đáy stato. Ở đây, ngoài giếng turbin còn bố trí các cơ cấu điều chỉnh turbin, các hệ thống đường ống của thiết bị phụ, cáp điện...vv.. Vì vậy, khoảng cách này phải bảo đảm chiều cao nhất định để bố trí thiết bị, đồng thời để nhân viên vận hành thao tác thuận tiện thường từ 2,7÷3,0 m. Khi xác định cao trình đáy stator (cao trình máy phát), cao trình này phải đảm bảo cao hơn mực



nước hạ lưu lớn nhất để máy phát không bị ngập. Song điều kiện này không phải trong bất kì trường hợp nào cũng thảo mãn, nhất là khi mực nước hạ lưu sông thay đổi lớn giữa mùa lũ và mùa kiệt. Trong trường hợp này, nếu đặt máy phát trên mực nước cao nhất hạ lưu thì trục tổ máy dài không lợi cho tính ổn định khi vận hành, chiều cao phần dưới nước tăng lên, khối lượng bê tông sẽ tăng nhiều. Khi gặp trường hợp này thường được thông qua biện pháp công trình là xây tường ngăn chống thấm phía hạ lưu và chỉ trên cơ sở đó mới hạ được cao trình đặt máy xuống khi đủ để bố trí các thiết bị trong nhà máy.

## **1.4. KẾT CẤU VÀ KÍCH THƯỚC PHẦN TRÊN NƯỚC NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN**

### **1.4.1. Các dạng kết cấu phần trên nước của nhà máy thủy điện**

Kết cấu và kích thước phần trên nước nhà máy thủy điện có liên quan chặt chẽ đến việc bố trí các thiết bị trong gian máy. Phần xây lắp bên trên của nhà máy thủy điện có thể dùng một trong những hình thức sau: nhà máy kín, nhà máy hở, nhà máy nửa hở.

#### ***1. Kết cấu nhà máy thủy điện kiểu kín (Hình 1-16.I,II)***

Kết cấu phần trên nước của nhà máy thủy điện kiểu kín bao giờ cũng phức tạp và giá thành đắt hơn so với các loại nhà máy kiểu hở và nửa hở. Phần này có kết cấu tương tự như một nhà máy công nghiệp, bên trong có cần trục chạy dọc suốt nhà máy phục vụ công việc lắp ráp và sửa chữa tổ máy. Các thiết bị được bảo vệ che chở khỏi bị tác động xấu của thời tiết khí hậu, đảm bảo có thể lắp ráp, sửa chữa thiết bị trong bất kì điều kiện nào.

Ở những nhà máy thủy điện lớn các trụ đỡ chịu một tải trọng rất lớn của cần trục và các tải trọng của mái che truyền xuống, chiều rộng gian máy có thể từ 22÷25 m và chiều cao thường trên 30 m. Với kết cấu như vậy tương đối phức tạp, thời gian thi công dài hơn và giá thành đắt hơn các nhà máy kiểu hở, nửa hở song nó có ưu điểm là điều kiện vận hành thuận lợi. Những trạm thủy điện đã xây dựng ở nước ta hiện nay đều áp dụng nhà máy thủy điện kiểu kín.

#### ***2. Kết cấu nhà máy thủy điện kiểu nửa hở (Hình 1-16.III)***

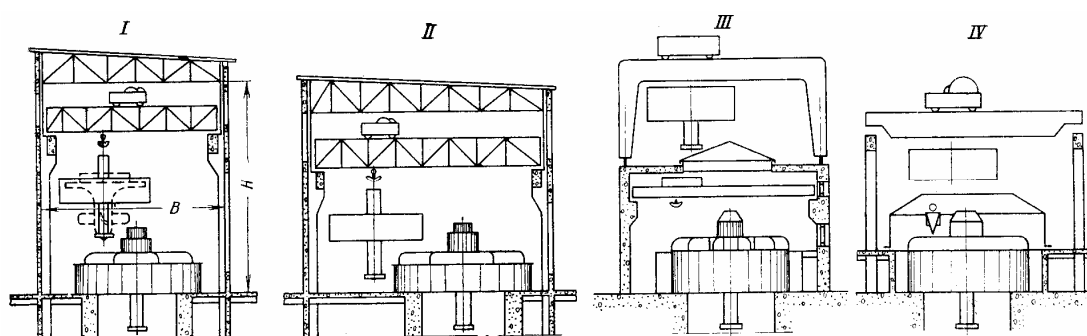
Nhà máy thủy điện kiểu nửa hở cho phép giảm được kích thước phần xây lắp bên trên nhưng phải bảo đảm điều kiện vận hành của các thiết bị. Phần trên rất thấp nhằm để tăng tốc độ thi công nhà máy. Loại nhà máy này cầu trục chính đặt ngoài, tất cả các thiết bị đều bố trí bên trong gian máy. Trên mỗi tổ máy có nắp dẩy, có thể tháo lắp được, khi sửa chữa hoặc lắp ráp cầu trục sẽ di chuyển đến vị trí nhất định để thao tác hoặc có thể dùng con lăn dẩy sang một bên. Ở những trạm thủy điện lớn bên trong gian máy thường lắp cầu trục phụ để cầu những cấu kiện nhỏ mà cầu trục lớn không thao tác được. Nếu nắp dẩy tổ máy dùng con lăn kéo bằng tời giảm được thời gian mở gian máy lúc này cầu trục đưa thiết bị đến và đã ở vị trí của nắp.

Chiều cao gian máy của loại nhà máy kiểu nửa hở tùy thuộc vào điều kiện lắp ráp vận hành của tổ máy, công tác sửa chữa thường xuyên không cần đến cầu trục chính.

Ưu điểm của nhà máy thủy điện kiểu nửa hở là giảm được giá thành xây lắp bên trên, công tác lắp ráp nhanh hơn, tổ máy thứ nhất có thể đưa vào vận hành sớm. Loại nhà máy này có thể áp dụng trong các điều kiện khí hậu khác nhau.

### 3. Kết cấu nhà máy thủy điện kiểu hở

Loại nhà máy này không có gian máy, chỉ có một hệ cột đỡ dầm cầu trục mọi thao tác đều ở ngoài trời. Các máy phát có nắp che để bảo vệ, các thiết bị phụ bố trí ở các tầng khác của nhà máy và dưới gian lắp ráp. Kiểu nhà máy này khi sửa chữa, lắp ráp thiết bị đều làm việc ngoài trời. Đây là điều kiện không lợi đối với những vùng nóng.



Hình 1-16. Các kiểu kết cấu bên trên của nhà máy thủy điện

#### 1.4.2. Nguyên tắc xác định kích thước chủ yếu của nhà máy kiểu kín

##### 1. Kích thước mặt bằng của nhà máy

##### a) Chiều dài L của nhà máy

Chiều dài nhà máy là tổng chiều dài của các khối máy, chiều dài của sàn lắp ráp, đoạn tăng thêm ở tổ máy cuối cùng. Toàn bộ chiều dài có thể biểu thị bằng công thức sau:

$$L = n \cdot l_d + l_{sc} + \Delta l$$

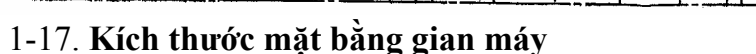
Trong đó:  $n$  - số tổ máy;  $l_d$  - chiều dài đoạn tổ máy;  $l_{sc}$  - chiều dài gian lắp ráp sửa chữa,  $\Delta l$  - đoạn kích thước tăng thêm ở tổ máy cuối cùng đủ để cầu trục hoạt động cầu tổ máy cuối cùng, kích thước này phụ thuộc vào kích thước bề ngang của cầu trục, hình thức cầu (cầu đơn hoặc cầu kép), vị trí gian lắp máy ở hồi trái hay hồi phải. Khi xác định kích thước này lấy tâm của móc cầu trùng với tâm tổ máy. Trong thực tế người ta thường lấy  $\Delta l = 2 \div 5$  m.

##### b) Chiều ngang B nhà máy

Khi xác định chiều ngang nhà máy cần phải căn cứ vào kích thước và phương thức bố trí máy phát, các thiết bị điều chỉnh, bảng điện bên máy và các thiết bị khác được bố trí trong gian máy. Các thiết bị này phải nằm trong phạm vi thao tác của cầu trục.

Hình 1-17. thể hiện kích thước mặt bằng gian máy phát trong đó bố trí máy phát điện, thùng dầu áp lực, tủ điều tốc, khoảng lưu không để nhân viên vận hành đi lại. Qua đó ta thấy vị trí tương tác giữa các thiết bị bố trí ở tầng turbin và tầng máy phát.

1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026, 2027, 2028, 2029, 2030, 2031, 2032, 2033, 2034, 2035, 2036, 2037, 2038, 2039, 2040, 2041, 2042, 2043, 2044, 2045, 2046, 2047, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054, 2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069, 2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2080, 2081, 2082, 2083, 2084, 2085, 2086, 2087, 2088, 2089, 2090, 2091, 2092, 2093, 2094, 2095, 2096, 2097, 2098, 2099, 2100, 2101, 2102, 2103, 2104, 2105, 2106, 2107, 2108, 2109, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2116, 2117, 2118, 2119, 2120, 2121, 2122, 2123, 2124, 2125, 2126, 2127, 2128, 2129, 2130, 2131, 2132, 2133, 2134, 2135, 2136, 2137, 2138, 2139, 2140, 2141, 2142, 2143, 2144, 2145, 2146, 2147, 2148, 2149, 2150, 2151, 2152, 2153, 2154, 2155, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160, 2161, 2162, 2163, 2164, 2165, 2166, 2167, 2168, 2169, 2170, 2171, 2172, 2173, 2174, 2175, 2176, 2177, 2178, 2179, 2180, 2181, 2182, 2183, 2184, 2185, 2186, 2187, 2188, 2189, 2190, 2191, 2192, 2193, 2194, 2195, 2196, 2197, 2198, 2199, 2200, 2201, 2202, 2203, 2204, 2205, 2206, 2207, 2208, 2209, 2210, 2211, 2212, 2213, 2214, 2215, 2216, 2217, 2218, 2219, 2220, 2221, 2222, 2223, 2224, 2225, 2226, 2227, 2228, 2229, 2230, 2231, 2232, 2233, 2234, 2235, 2236, 2237, 2238, 2239, 2240, 2241, 2242, 2243, 2244, 2245, 2246, 2247, 2248, 2249, 2250, 2251, 2252, 2253, 2254, 2255, 2256, 2257, 2258, 2259, 2260, 2261, 2262, 2263, 2264, 2265, 2266, 2267, 2268, 2269, 2270, 2271, 2272, 2273, 2274, 2275, 2276, 2277, 2278, 2279, 2280, 2281, 2282, 2283, 2284, 2285, 2286, 2287, 2288, 2289, 2290, 2291, 2292, 2293, 2294, 2295, 2296, 2297, 2298, 2299, 2300, 2301, 2302, 2303, 2304, 2305, 2306, 2307, 2308, 2309, 2310, 2311, 2312, 2313, 2314, 2315, 2316, 2317, 2318, 2319, 2320, 2321, 2322, 2323, 2324, 2325, 2326, 2327, 2328, 2329, 2330, 2331, 2332, 2333, 2334, 2335, 2336, 2337, 2338, 2339, 2340, 2341, 2342, 2343, 2344, 2345, 2346, 2347, 2348, 2349, 2350, 2351, 2352, 2353, 2354, 2355, 2356, 2357, 2358, 2359, 2360, 2361, 2362, 2363, 2364, 2365, 2366, 2367, 2368, 2369, 2370, 2371, 2372, 2373, 2374, 2375, 2376, 2377, 2378, 2379, 2380, 2381, 2382, 2383, 2384, 2385, 2386, 2387, 2388, 2389, 2390, 2391, 2392, 2393, 2394, 2395, 2396, 2397, 2398, 2399, 2400, 2401, 2402, 2403, 2404, 2405, 2406, 2407, 2408, 2409, 2410, 2411, 2412, 2413, 2414, 2415, 2416, 2417, 2418, 2419, 2420, 2421, 2422, 2423, 2424, 2425, 2426, 2427, 2428, 2429, 2430, 2431, 2432, 2433, 2434, 2435, 2436, 2437, 2438, 2439, 2440, 2441, 2442, 2443, 2444, 2445, 2446, 2447, 2448, 2449, 2450, 2451, 2452, 2453, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458, 2459, 2460, 2461, 2462, 2463, 2464, 2465, 2466, 2467, 2468, 2469, 2470, 2471, 2472, 2473, 2474, 2475, 2476, 2477, 2478, 2479, 2480, 2481, 2482, 2483, 2484, 2485, 2486, 2487, 2488, 2489, 2490, 2491, 2492, 2493, 2494, 2495, 2496, 2497, 2498, 2499, 2500, 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, 2506, 2507, 2508, 2509, 2510, 2511, 2512, 2513, 2514, 2515, 2516, 2517, 2518, 2519, 2520, 2521, 2522, 2523, 2524, 2525, 2526, 2527, 2528, 2529, 2530, 2531, 2532, 2533, 2534, 2535, 2536, 2537, 2538, 2539, 2540, 2541, 2542, 2543, 2544, 2545, 2546, 2547, 2548, 2549, 2550, 2551, 2552, 2553, 2554, 2555, 2556, 2557, 2558, 2559, 2560, 2561, 2562, 2563, 2564, 2565, 2566, 2567, 2568, 2569, 2570, 2571, 2572, 2573, 2574, 2575, 2576, 2577, 2578, 2579, 2580, 2581, 2582, 2583, 2584, 2585, 2586, 2587, 2588, 2589, 2590, 2591, 2592, 2593, 2594, 2595, 2596, 2597, 2598, 2599, 2600, 2601, 2602, 2603, 2604, 2605, 2606, 2607, 2608, 2609, 2610, 2611, 2612, 2613, 2614, 2615, 2616, 2617, 2618, 2619, 2620, 2621, 2622, 2623, 2624, 2625, 2626, 2627, 2628, 2629, 2630, 2631, 2632, 2633, 2634, 2635, 2636, 2637, 2638, 2639, 2640, 2641, 2642, 2643, 2644, 2645, 2646, 2647, 2648, 2649, 2650, 2651, 2652, 2653, 2654, 2655, 2656, 2657, 2658, 2659, 2660, 2661, 2662, 2663, 2664, 2665, 2666, 2667, 2668, 2669, 2670, 2671, 2672, 2673, 2674, 2675, 2676, 2677, 2678, 2679, 26



*c cao trình chủ yếu phần trên nước của nhà*

Cao trình phần trên nước của nhà máy gồm các cao trình

a) Cao trình sàn gian máy phát.

Cao trình sản gian máy phát p

(c)  $\mathcal{C}_1$  and  $\mathcal{C}_2$  are  $\mathcal{C}$ -closed, and  $\mathcal{C}_1 \cap \mathcal{C}_2 = \emptyset$ .

máy. Chiều cao H của nhà máy được tính từ cao trình sàn gian máy phát đến trần nhà máy.

*b) Cao trình ray cầu trục*

Khoảng cách chiều cao từ sàn máy phát đến ray cầu trục phụ thuộc vào kích thước vật cầu, phương thức cầu (cầu di chuyển bên hoặc di chuyển trên đỉnh máy phát), vị trí móc chính khi chưa thao tác (Hình 1-16.I,II)

- Nếu cầu rô to máy phát hoặc bánh xe công tác di chuyển trên đỉnh các tổ máy (khoảng cách giữa vật di chuyển và vật cố định thường  $0,25 \div 0,5$  m) thì giảm được chiều ngang gian máy, song tăng chiều cao. Phương thức này chỉ dùng khi tổ máy có công suất lớn, trạm thủy điện cột nước thấp.

- Rô to máy phát cùng sửa chữa với trục tổ máy, để giảm chiều cao nhà máy thì phải nghiên cứu sự di chuyển của xe cầu dọc theo nhà máy về phía thượng lưu hoặc hạ lưu (Hình 1-5.II). Với phương thức này chiều rộng nhà máy sẽ tăng lên, song giảm được chiều cao. Nếu tính từ tâm tổ máy thì phía thượng lưu rộng hơn phía hạ lưu. Thường ở nhà máy thủy điện sau đập và đường dẫn do đặt van sự cố ở cuối đường ống áp lực, trong quá trình lắp ráp và sửa chữa dùng cầu trục chính trong gian máy thao tác thì có thể xê dịch phần trên nhà máy về phía thượng lưu, như vậy cho phép giảm được chiều ngang nhà máy.

*c) Cao trình trần nhà máy*

Khoảng cách chiều cao từ ray cầu trục đến trần nhà máy phụ thuộc vào kích thước cầu trục và xe cầu, các thông số này khi chọn cầu trục có thể biết được. Độ an toàn tính từ đỉnh xe đến trần nhà máy thường 0,5 m.

Tóm lại khi xác định chiều cao H và chiều ngang B phần trên nước của nhà máy cần phải nghiên cứu một cách toàn diện không những về mặt bố trí thiết bị, phương thức cầu mà còn cả về mặt kết cấu, giải pháp thi công...vv..

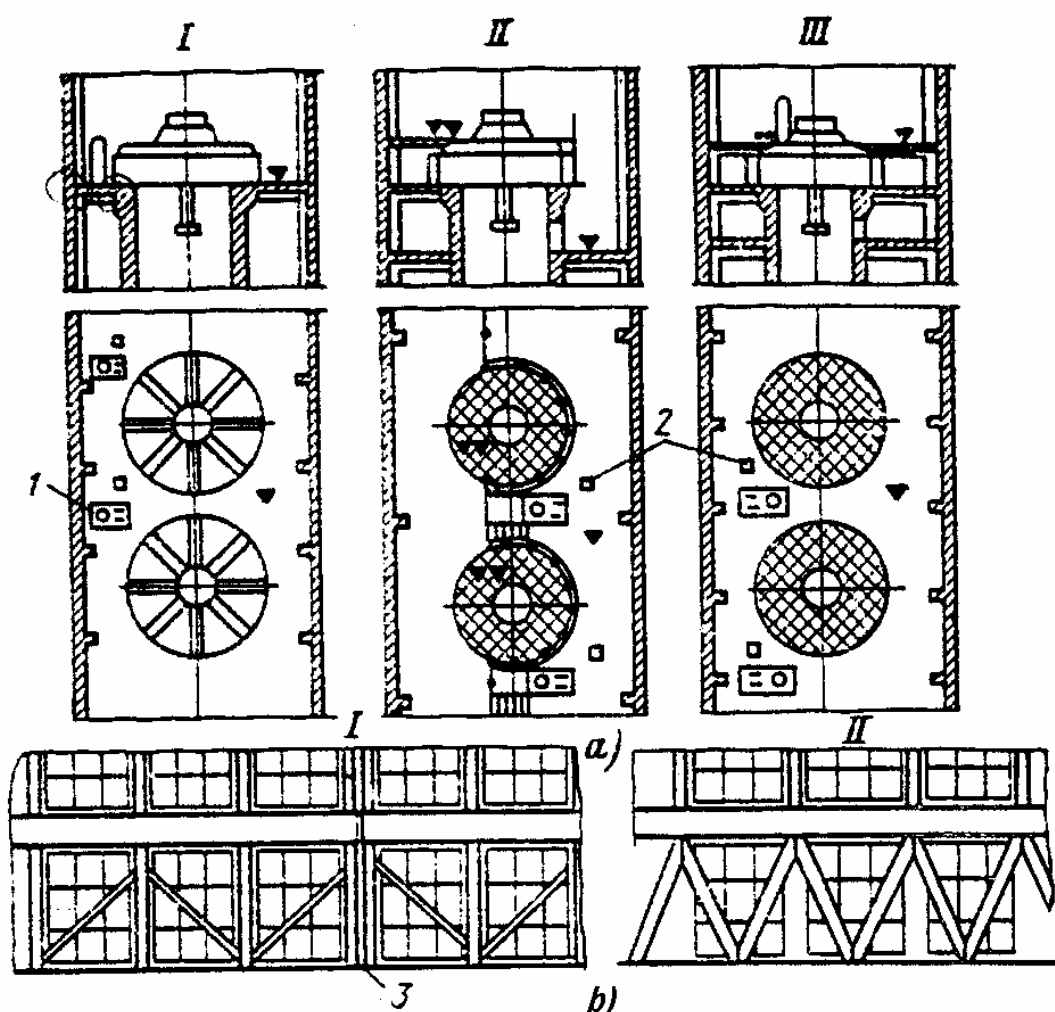
Kết cấu chịu lực phần trên nước của nhà máy kiểu kín bao gồm các hệ thống cột và dầm. Ở những vị trí đặt khớp lún thì phần trên của nhà máy cũng phải tách ra. Các dầm và cột có thể bằng thép hoặc bê tông cốt thép, khoảng cách giữa các hệ thống cột phụ thuộc vào kích thước nhà máy và sức nâng của cầu trục. Có thể có các phương án khác nhau để bố trí hệ thống cột nhà máy (Hình 1-18.a)

Khoảng cách giữa các cột dọc theo chiều dài nhà máy bằng nhau, có các cột góc và cột đôi chỗ đặt khớp lún. Trong từng đoạn tổ máy dọc theo chiều dài cách bố trí số cột cũng có thể khác nhau (Hình 1-18.I,II,III)

Trong đó sơ đồ III tăng thêm một cột ngang tâm tổ máy, chủ yếu do công suất tổ máy lớn cấu kiện nâng có trọng lượng lớn.

Tường nhà máy giữa các trụ đỡ được xây bằng vật liệu như gạch, đá hoặc đổ bê tông.

Vì lý do an toàn không được trở cửa sổ chỗ vị trí đặt máy biến thế, cũng như ở phía đường ống áp lực dẫn vào tua bin đặt lộ thiên của trạm thủy điện đường dẫn.



**Hình 1-18.** Bố trí hệ thống cột đỡ dầm cầu trục và mặt bằng gian máy sàn máy phát  
a) Cách bố trí các cột đỡ dầm cầu trục, b) trụ cột bằng thép  
▽- cao trình sàn máy phát ; 1- thiết bị dầu áp lực; 2- Tủ điều khiển; 3- Khóp lún

Lực hãm máy truyền từ cầu trục đến kết cấu đỡ có thể xác định bởi sức nâng, tốc độ di chuyển, thời gian hãm máy theo công thức sau:

$$P = ma = \frac{Gv}{gt} \quad (1-17)$$

Trong đó:

$G$  - trọng lượng toàn bộ cầu trục và trọng lượng vật nâng nặng nhất

$G = G_{\text{cầu trục}} + G_{\text{nâng}}$

$v$  - vận tốc di chuyển ngang của cầu trục

$t$  - thời gian hãm máy

Đối với loại cầu trục lớn lực  $P = (2 \div 10\%)G_{\text{nâng}}$  ; với loại cầu trục sức nâng càng nhỏ lực hãm lớn vì tốc độ di chuyển ngang lớn.

Tuỳ thuộc vào công suất tổ máy và cao trình đường vận chuyển vào gian lắp ráp thường áp dụng một trong những phương án bố trí máy phát trong gian máy như Hình 1-7a.

Sơ đồ I và II thường được áp dụng với tổ máy có công suất không lớn, máy phát bố trí như sơ đồ I gọi là máy phát đặt nổi ; sơ đồ II gọi là máy phát đặt kiểu hỗn hợp. Ở cao trình sàn máy phát đặt thùng dầu áp lực, tủ điều tốc và các thiết bị phụ khác.

Khi tổ máy có công suất lớn người ta áp dụng phương thức bố trí máy phát kiểu chìm (Hình 1-18.III). Cách bố trí này cao trình sàn máy phát ở giá chữ thập trên. Ở trên sàn máy phát ngoài máy kích từ còn đặt thùng dầu áp lực, tủ điều tốc, thiết bị phân phối điện. Còn các thiết bị phụ khác bố trí tầng dưới. Lối vào giếng turbin cùng cao trình sàn turbin . Phương án bố trí như vậy gian máy rất rộng có thể dùng để sửa chữa các thiết bị nhỏ, điều kiện vận hành rất tốt.

## **1.5. GIAN LẮP RÁP SỬA CHỮA**

### **1.5.1. Mục đích yêu cầu**

Diện tích gian lắp ráp là để lắp ráp các thiết bị trong thời kì xây dựng trạm thủy điện và tiến hành sửa chữa tổ máy trong quá trình vận hành.

Khi tiến hành lắp ráp các thiết bị chủ yếu trong nhà máy thì những bộ phận thiết bị đó được chở dần từ nơi sản xuất đến. Căn cứ kích thước bên ngoài và trọng lượng của nó cho phép chuyên chở bằng đường ô tô, đường thủy hoặc đường xe lửa đến gian lắp ráp. Vì vậy, khi thiết kế nhà máy thường cao trình sàn lắp ráp cùng với cao trình sàn máy phát đồng thời cùng với cao trình đường giao thông từ ngoài vào nhà máy. Bố trí như vậy không những thuận tiện cho việc chuyên chở thiết bị vào nhà máy mà còn lợi dụng diện tích tổ máy gần gian lắp ráp để tháo lắp các thiết bị.

Diện tích gian lắp ráp trong thời kì xây dựng ở những trạm thủy điện lớn, nhiều tổ máy thường lớn hơn nhiều diện tích gian lắp ráp trong thời kì vận hành. Vì vậy, trong thời kì xây dựng thường bố trí một diện tích tạm thời để lắp ráp nối liền với diện tích sửa chữa cố định. Trong thực tế có thể dùng diện tích đoạn tổ máy thứ nhất gần gian lắp ráp để tiến hành lắp ráp trong thời kì xây dựng, chỉ cần dùng các tấm bê tông dầy hồ máy lại.

### **1.5.2. Nguyên tắc xác định kích thước của gian lắp ráp**

Kích thước gian lắp ráp cố định là dựa vào yêu cầu cùng một thời gian sửa chữa hoặc lắp ráp một tổ máy (khi tổ máy trạm thủy điện ít hơn  $8 \div 10$  tổ) hoặc hai tổ máy (khi tổ máy trạm thủy điện lớn hơn 10)

Khi lắp ráp tổ máy phải dùng cầu trục chính trong gian máy để tiến hành thao tác, do đó chiều ngang gian lắp ráp bằng chiều ngang gian máy. chiều dài gian lắp ráp  $l_{sc}$  xác định trên cơ sở kích thước của tất cả các thiết bị một hoặc hai tổ máy đặt lên nó (Hình 1-19)

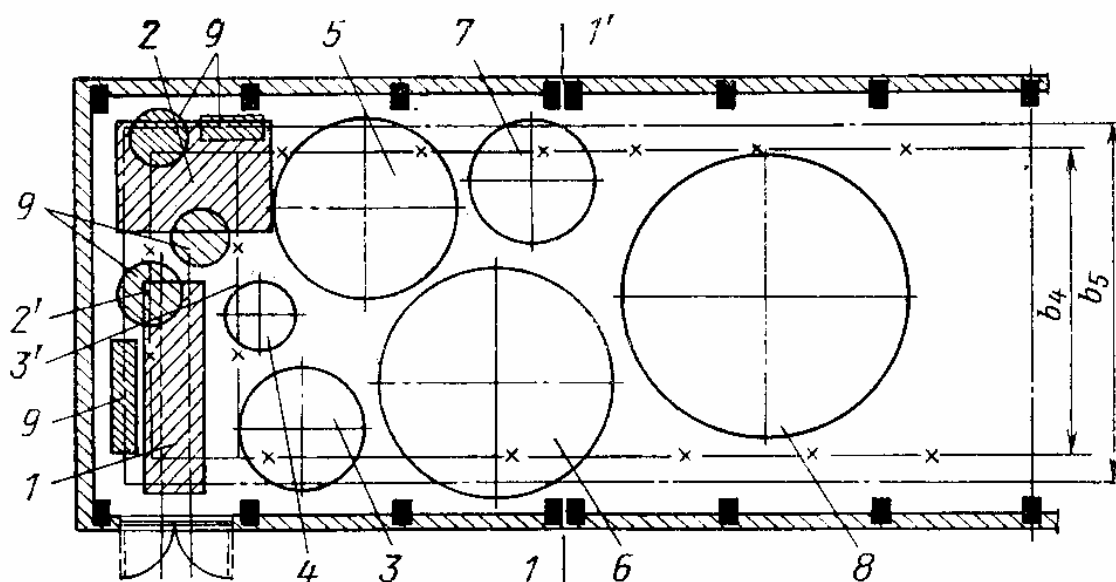
Khi sửa chữa tổ máy trong phạm vi diện tích gian lắp ráp thường đặt các thiết bị sau: máy kích từ, giá chữ thập trên máy phát, rô to máy phát, ổ trục với gối đỡ, nắp

đẩy tua bin và vòng điều chỉnh máy tiếp lực, bánh xe công tác, diện tích để sửa chữa máy biến thế, diện tích để đi lại.

Hình 1-19 Một trong những sơ đồ sắp xếp các thiết bị để xác định diện tích gian lắp ráp (chủ yếu xác định chiều dài  $l_{sc}$  )

Ở những trạm thủy điện đã xây dựng số tổ máy ít thường chiều dài gian lắp ráp không vượt quá  $(1 \div 1,2)l_d$  song khi đoạn tổ máy hẹp có thể đạt tới  $(1,3 \div 1,5)l_d$ .

Chiều cao gian lắp ráp cùng với chiều cao gian máy. Nếu gian lắp ráp tiến hành sửa chữa máy biến thế, để không tăng chiều cao nhà máy, thì ở gian lắp ráp phải đặt hồ máy biến thế để tháo lắp khi sửa chữa. Khi xác định chiều dài gian lắp ráp cần phải tính toán phạm vi hoạt động của cầu trục chính và phụ, đồng thời phải xét đến phạm vi đặt thiết bị mà nó không thao tác được, trên cơ sở đó quyết định chiều dài  $l_{sc}$  một cách hợp lý.



Hình 1-19. Sơ đồ sắp xếp các thiết bị tổ máy trong gian lắp ráp

1- đường ray; 2- máy biến thế; 3- bánh xe công tác; 4- ổ trục với gối đỡ; 5- rô to máy phát; 6- giá chữ thập máy phát; 7- nắp đẩy tua bin; 8- tổ máy gần gian lắp ráp; 9- máy kích từ, trục tua bin, các thiết bị làm mát máy phát và các thiết bị khác; 1'- khớp lún; 2'- vùng thao tác cầu trục chính; 3'- vùng thao tác cầu trục ghép; b4- phạm vi thao tác cầu trục chính

## 1.6. HỆ THỐNG THIẾT BỊ PHỤ VÀ NGUYÊN TẮC BỐ TRÍ TRONG NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN

### 1.6.1. Mục đích yêu cầu khi bố trí thiết bị phụ

Hệ thống thiết bị phụ chủ yếu để bảo đảm chế độ vận hành bình thường của tổ máy có thể chia làm 2 nhóm:

#### 1. Nhóm thứ nhất gồm:

a) Hệ thống điều chỉnh công suất tổ máy bao gồm thiết bị dầu áp lực, tủ điều khiển, động cơ máy tiếp lực, đường ống dẫn dầu áp lực.

Đối với hệ thống này phải xác định dung tích dầu và áp suất dầu thường từ  $16 \div 40$  at. Ngoài ra còn dầu làm trơn các ổ chặn chính và ổ chặn định hướng của tổ máy, dầu cách nhiệt làm mát máy biến thế.

b) Hệ thống cung cấp nước kỹ thuật trong nhà máy chủ yếu để làm mát máy phát, các ổ chặn tua bin và trong một số trường hợp làm mát máy biến thế, ngoài ra còn có hệ thống cấp nước cứu hoả.

c) Hệ thống khí nén để điều khiển tổ máy và hãm máy khi cắt tải, phục vụ cho các thiết bị kiểm tra đo lường, dùng khí nén đẩy nước trong ống hút khi tổ máy làm việc ở chế độ bù đồng bộ với độ cao hút âm ( $H_s < 0$ )

d) Hệ thống thoát nước và tháo cạn nước khi sửa chữa hoặc kiểm tra tổ máy cần phải bơm cạn nước trong buồng xoắn và ống hút. Vì vậy trong nhà máy thủy điện phải đặt trạm bơm và hệ thống ống dẫn thoát nước. Đối với lượng nước thấm phải bố trí hầm tập trung nước và hệ thống tiêu nước. Tất cả các hệ thống trên và các thiết bị cần thiết bố trí trong các phòng riêng đặt trong nhà máy.

**2. Nhóm thứ hai gồm:** Các thiết bị điện và đường dây dẫn điện của bộ phận phân phối điện áp thấp, điện tự dùng của bộ phận điều khiển.

### 1.6.2. Các hệ thống thiết bị phụ

#### 1. Hệ thống dầu

Ở các trạm thủy điện thiết kế cần phải sơ bộ tính toán lượng dầu cần dùng, biện pháp bảo quản dầu, chuẩn bị dầu đưa vào vận hành, định kì kiểm tra chất lượng dầu, tái sinh dầu, bảo quản dầu.

Cần phải tính toán sử dụng các loại dầu khác nhau, không cho phép lẫn lộn đặc tính hoá lí của chúng. Trong phạm vi nhà máy phải bố trí các phòng riêng để chứa từng loại, phải có phòng chứa dầu sạch và dầu bẩn từng loại.

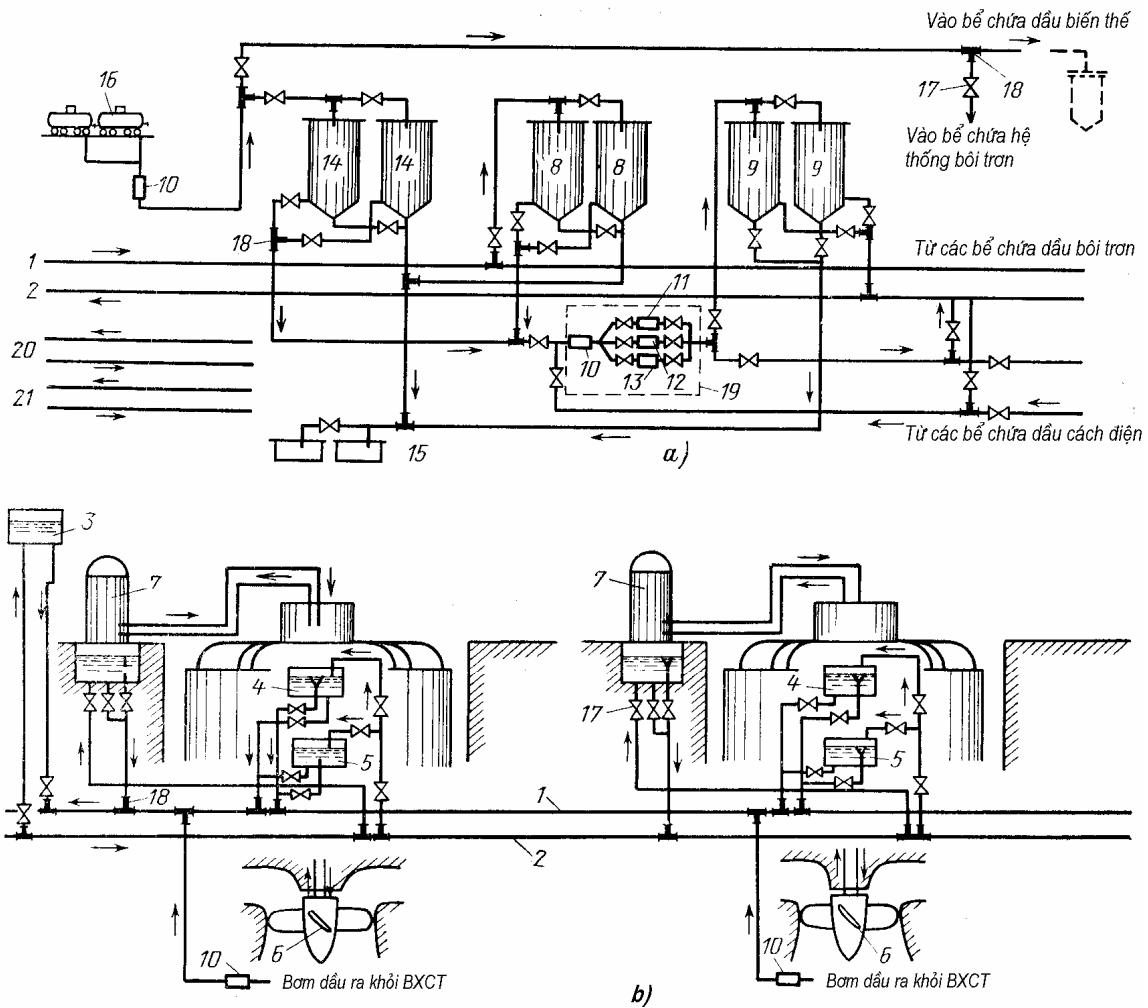
Lượng dầu để vận hành một tổ máy có thể xác định theo công thức sau:

$$G = k \frac{N \sqrt{D_1}}{\sqrt{H}} \quad (1-18)$$

trong công thức: G - trọng lượng dầu (kg); N - công suất định mức của tua bin (kW);  $D_1$  - đường kính bánh xe công tác turbin (m); H - cột nước, bằng hiệu số giữa mực nước dâng bình thường và mực nước hạ lưu ứng với lưu lượng bình quân nhiều năm (m); k - hệ số phụ thuộc vào hình dạng turbin : đối với turbin cánh quay  $k=0,9 \div 1,1$  ; đối với turbin tâm trục  $k=0,45 \div 0,65$  và turbin gáo  $k=1,35 \div 1,80$ . Khi công suất tổ máy tăng lên yêu cầu lượng dầu dự trữ sẽ giảm xuống.

Lượng dầu của hệ thống dầu bôi trơn thường chiếm khoảng 35% lượng dầu để điều chỉnh turbin. Dung tích dầu cách nhiệt máy biến thế phụ thuộc vào hình dạng và công suất của máy, thường cứ 1000kW cần 0,4 T đối với máy biến thế lớn ;  $0,6 \div 1,3$  T đối với máy biến thế loại vừa.





**Hình 1-20.** Sơ đồ cung cấp dầu và hệ thống đường ống dẫn dầu cho một nhà máy thủy điện loại lớn.

a) Sơ đồ hệ thống cung cấp dầu; b) Sơ đồ hệ thống cung cấp dầu vận hành tổ máy và dầu làm trơn các ổ chặn. 1- đường ống xả; 2- đường ống dẫn; 3- Thùng chứa dầu; 4- ổ chặn chính; 5- ổ chặn định hướng; 6- Máy tiếp lực; 7- MHY (dầu áp lực); 8- Bể dầu vận hành; 9- Bể dầu sạch; 10- Máy bơm; 11- thiết bị lọc; 12- thiết bị tái sinh dầu; 13- Máy phân li; 14- Bể chứa dầu mới; 15- Bể chứa dầu không đạt chỉ tiêu cơ lý; 16- Két chứa dầu; 17- Van; 18- ống nối; 19- Thùng dầu tái sinh; 20- Đường dẫn dầu làm trơn; 21- Đường dẫn dầu đến máy biến thế

Ngoài số lượng dầu đó ra, theo điều kiện kỹ thuật và quy phạm ở các trạm thủy điện cần lượng dầu dự trữ sau đây: trong vận hành khi đã trữ đầy dầu cho một tổ máy còn phải cộng thêm số dầu dự trữ và hao hụt trong 45 ngày, trong hệ thống dầu bôi trơn cũng tăng thêm lượng dầu dự trữ như vậy. Và đối với máy biến thế cộng thêm 1% lượng dầu toàn bộ của nó và máy cắt. Dung tích dầu ở một trạm thủy điện rất lớn có thể đạt tới hàng nghìn tấn. Bảo vệ một lượng dầu lớn như vậy ở trong nhà máy cần phải tiến hành biện pháp chống nóng, phòng hoả.

Theo quy phạm quy định các bể dầu đặt trên mặt đất thường không vượt quá 300 T và đặt dưới đất 500 T, các bể dầu đặt trong nhà máy thường không vượt quá 100T. Đối

với lượng dầu dự trữ lớn phải có bể riêng để chứa và phòng hoả chống nóng một cách an toàn.

Hình 1-20. sơ đồ a là hệ thống đường ống dẫn dầu của một trạm thủy điện loại lớn, trong đó bể 14 chứa dầu sạch có đường ống dẫn đến hệ thống kiểm tra hoá lí, bể 8- chứa dầu vận hành đã xác định số giờ làm việc. Dầu sau khi làm sạch hoặc để tái sinh qua thiết bị 11,12,13 dầu được chảy vào bể 9, nếu chỉ tiêu cơ lí của dầu không phù hợp dầu được chảy vào bể 15. Sơ đồ b là hệ thống cung cấp dầu vận hành tổ máy và dầu làm trơn ổ chặn chính và ổ chặn định hướng ở trạm thủy điện dùng tua bin cánh quay.

Ở các trạm thủy điện dầu dùng cho máy biến thế chứa bể riêng. Trong vận hành tuyệt đối không được nhầm lẫn các loại dầu.

Trong các hệ thống cung cấp dầu cần phải qua các thiết bị lọc để loại trừ tạp chất và nước. Ở những nhà máy thủy điện lớn có các thiết bị dầu tái sinh chủ yếu phục hồi bản chất hoá lí của dầu (độ nhớt, độ axit, lưu huỳnh). Đối với trạm thủy điện nhỏ và vừa sự tái sinh dầu được thực hiện bằng các thiết bị đặt ở trạm dẫn dầu và từ đó dẫn đến tổ máy.

Với các hệ thống dùng dầu khác nhau thì thời gian sử dụng dầu cũng khác nhau, thường với hệ thống dầu vận hành từ 12 ÷ 15 ngàn giờ, với hệ thống dầu làm trơn từ 500 ÷ 1000 giờ.

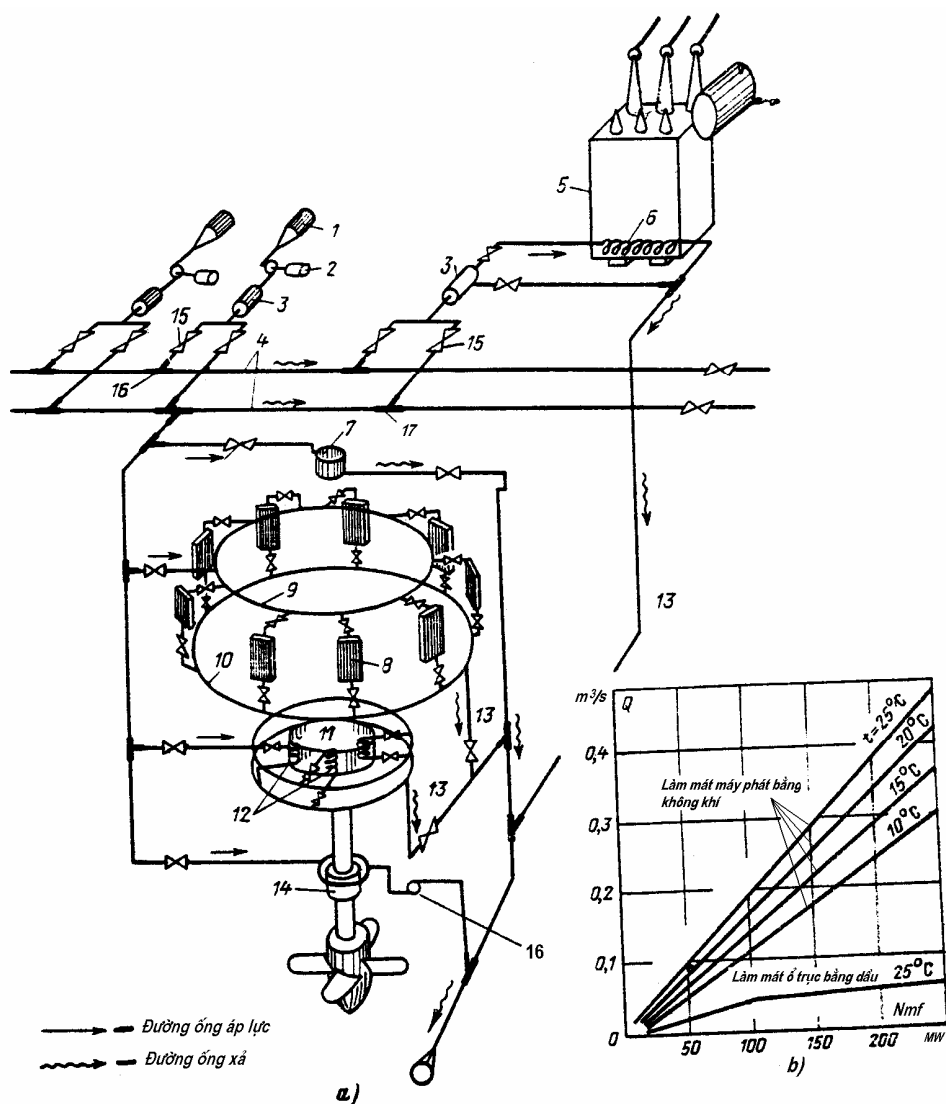
Đường kính ống dẫn thường 50 mm. Tất cả các thiết bị của hệ thống dẫn dầu thường bố trí tầng dưới gian lắp ráp có hệ thống phòng hoả nghiêm ngặt. Nếu bể dầu đặt ngoài trời phải cách xa nhà máy 20 m và có thiết bị đặc biệt để chống nóng và phòng hoả. Diện tích để dầu của trạm thủy điện thường chiếm từ 50 ÷ 100 m<sup>2</sup>.

## **2. Hệ thống cung cấp nước kỹ thuật**

Nước dùng cho nhà máy thủy điện gồm: nước làm mát máy phát, làm mát dầu các ổ chặn, đôi khi làm trơn ổ chặn dưới của tua bin, làm mát thiết bị khí nén, máy biến áp. Song lượng nước chủ yếu để làm mát máy phát. Tùy thuộc vào nhiệt độ có thể xác định được lượng nước làm mát máy phát và ổ chặn chính. Sơ bộ cứ 1KW công suất tổn thất của máy phát khi ở nhiệt độ  $t=20^{\circ}\text{C}$  cần 0,06 l/s, khi ở nhiệt độ  $t=25^{\circ}\text{C}$  cần 0,07 l/s. Lượng nước tiêu hao làm mát máy phát chiếm khoảng 60-65% toàn bộ lượng nước hệ thống. Lượng nước làm mát ổ chặn chính chiếm từ 10-20% và làm mát máy biến áp 15%.

Hình 2-21 Một trong những sơ đồ cung cấp nước làm mát máy phát và máy biến áp

Khi xác định áp lực nước dùng cho nhà máy thủy điện để vận hành tổ máy cần phải xem xét kích thước ống dẫn và độ cản thủy lực, song áp lực nước trước thiết bị làm mát máy phát không được nhỏ hơn 3-8 m. Đối với trạm thủy điện lớn lưu lượng cung cấp nước kỹ thuật thường từ 2 ÷ 4 m<sup>3</sup>/s



**Hình 1-21.** a) Sơ đồ cung cấp nước làm mát máy phát và máy biến áp  
b) Sơ đồ xác định lưu lượng nước làm mát máy phát và ổ chặn

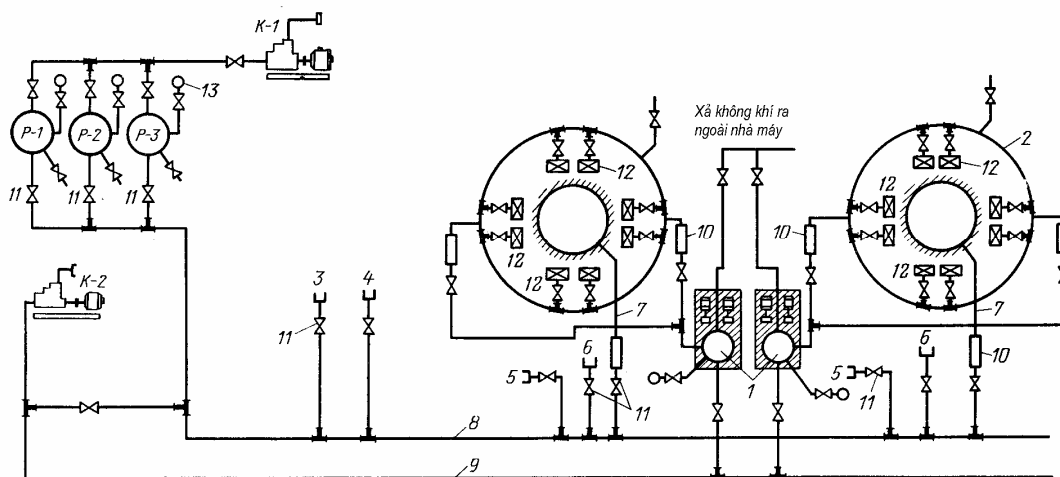
1- thiết bị lấy nước; 2- Máy bơm; 3- thiết bị lọc; 4- Trục đường chính dẫn nước; 5- máy biến áp; 6- Lò xo dẫn nước làm mát máy biến áp; 7- ổ chặn định hướng; 8- thiết bị làm mát máy phát; 9- Vòng dẫn nước làm mát máy phát; 10- Vòng dẫn nước ra sau khi làm mát máy phát; 11- ổ chặn; 12- Lò xo dẫn nước làm mát ổ chặn; 13- Đường xả; 14- ổ chặn tua bin; 15- Van; 16- Bơm nước khỏi nắp turbin, 17 - ống nổi

Hệ thống cung cấp nước kỹ thuật có thể dùng các nguồn nước khác nhau. Nguồn cung cấp nước tốt nhất cho nhà máy là thượng hạ lưu nhà máy thủy điện, trong trường hợp hồ chứa có nhiều tạp chất thì dùng các giếng khoan lấy nước cung cấp cho tổ máy. Nguồn cung cấp nước kỹ thuật có quan hệ đến cột nước của trạm thủy điện, trong các công trình đã xây dựng thường áp dụng các phương thức sau đây để lấy nước cung cấp cho tổ máy

1) Khi cột nước dưới 10 m hoặc cao hơn 40 ÷ 50 m : dùng máy bơm bơm nước ở hạ lưu cung cấp cho tổ máy.

2) Khi cột nước dưới 10 ÷ 15 m đến 40 ÷ 50 m : áp dụng hình thức lấy nước tự chảy ở thượng lưu hồ chứa, hoặc đối với trạm thủy điện sau đập lấy nước ở đường ống tua bin.

3) Khi cột nước của trạm thủy điện cao hơn 40 ÷ 50 m lấy nước ở thượng lưu hồ chứa hoặc đường ống tua bin qua thiết bị giảm áp. ở những trạm thủy điện cột nước dao động lớn có thể sử dụng hình thức cấp nước hỗn hợp.



**Hình 1-22.** Sơ đồ hệ thống khí nén nhà máy thủy điện

K-1: Máy khí nén áp lực thấp; K-2: Máy khí nén áp lực cao; P-1, P-2, P-3 - Bình chứa khí nén áp lực thấp; 1- Thùng dầu áp lực MHY; 2- hệ thống hãm máy phát; 3- ống nối dẫn đến gian lắp ráp; 4- ống nối dẫn đến gian cơ khí; 5- ống nối dẫn đến phòng tua bin; 6- ống nối dẫn vào gian máy; 7- Đường ống chính dẫn khí vào bánh xe công tác; 8- đường ống chính dẫn khí vào các bộ phận chủ yếu; 9- đường ống nạp khí vào thùng dầu áp lực MHY; 10- thiết bị tự động; 11- Van; 12- Đường dẫn khí nén hãm kích máy phát.; 13- áp kế

Hệ thống đường ống cung cấp nước kỹ thuật thường bố trí phía thượng lưu hoặc hạ lưu nhà máy đối với nhà máy thủy điện ngang đập, đối với nhà máy thủy điện sau đập và đường dẫn thường đặt trên đường ống tua bin và trên buồng xoắn tua bin. Lưu tốc lớn nhất trong đường ống cung cấp nước kỹ thuật không vượt quá 10 m/s, thường nằm trong giới hạn 1,5 ÷ 7 m/s, đường kính ống dẫn nước thường từ 250 ÷ 300 mm. Nước sau khi làm mát máy phát và các thiết bị khác theo đường ống xả xuống hạ lưu. Ở hệ thống cung cấp nước kỹ thuật cần đặt các thiết bị kiểm tra để theo dõi quá trình vận hành. Các đường ống rẽ xuyên toàn bộ nhà máy thường bố trí dưới gian lắp ráp tiện việc theo dõi kiểm tra.

Hệ thống nước chống cháy máy phát về nguyên tắc bố trí cũng giống như hệ thống cung cấp nước kỹ thuật. Áp lực nước trong hệ thống này ngay chỗ đặt bình dập lửa không được nhỏ hơn 2 ÷ 2,5 at.

### **3. Hệ thống khí nén**

Hệ thống khí nén trong nhà máy chủ yếu để điều khiển tổ máy và hãm máy khi cắt tải, phục vụ cho các thiết bị kiểm tra đo lường, dùng khí nén khi tổ máy làm việc ở chế độ bù đồng bộ với độ cao hút âm.

Hệ thống khí nén trạm thủy điện bao gồm : máy nén khí, bình chứa khí, các đường ống dẫn chính, các đường phụ dẫn đến các thiết bị. hệ thống khí nén đối với các tổ máy lớn có áp suất đến 40 at, còn các yêu cầu khác dùng trong nhà máy thường từ 6÷7 at. Khí nén cao áp và thấp áp ở những trạm thủy điện lớn thường bố trí gấp đôi.

Trong nhà máy thủy điện thiết bị khí nén bố trí ở dưới gian lắp ráp hoặc bố trí một phòng riêng.

Các ống dẫn khí bố trí dọc theo nhà máy giữa các tầng, đường kính ống dẫn dựa trên cơ sở vận tốc trong không khí ống thường từ 25÷30 m/s đối với ống dẫn còn đối với ống xả thường từ 10÷20 m/s. Lượng không khí chung cho toàn bộ nhà máy phụ thuộc vào số lượng tổ máy và công suất tổ máy. Nếu khí nén dùng khi tổ máy làm việc ở chế độ bù đồng bộ với độ cao hút âm thì lưu lượng khí nén phải tăng thêm và khí nén khi xả ra thường đưa ra ngoài phạm vi nhà máy. Với máy nén khí cao áp có thể dùng nước để làm mát.

### **4. Hệ thống tháo nước tổ máy**

Khi kiểm tra, sửa chữa ống hút, buồng xoắn hoặc máng xả tua bin gáo cần phải tháo cạn lượng nước trong đó. Ở trạm thủy điện đối với các bộ phận này phải bố trí hệ thống tháo nước và giếng tập trung nước. Lượng nước trong buồng xoắn và ống hút thường từ 8-10 ngàn m<sup>3</sup> hoặc nhiều hơn đối với tổ máy có công suất lớn.

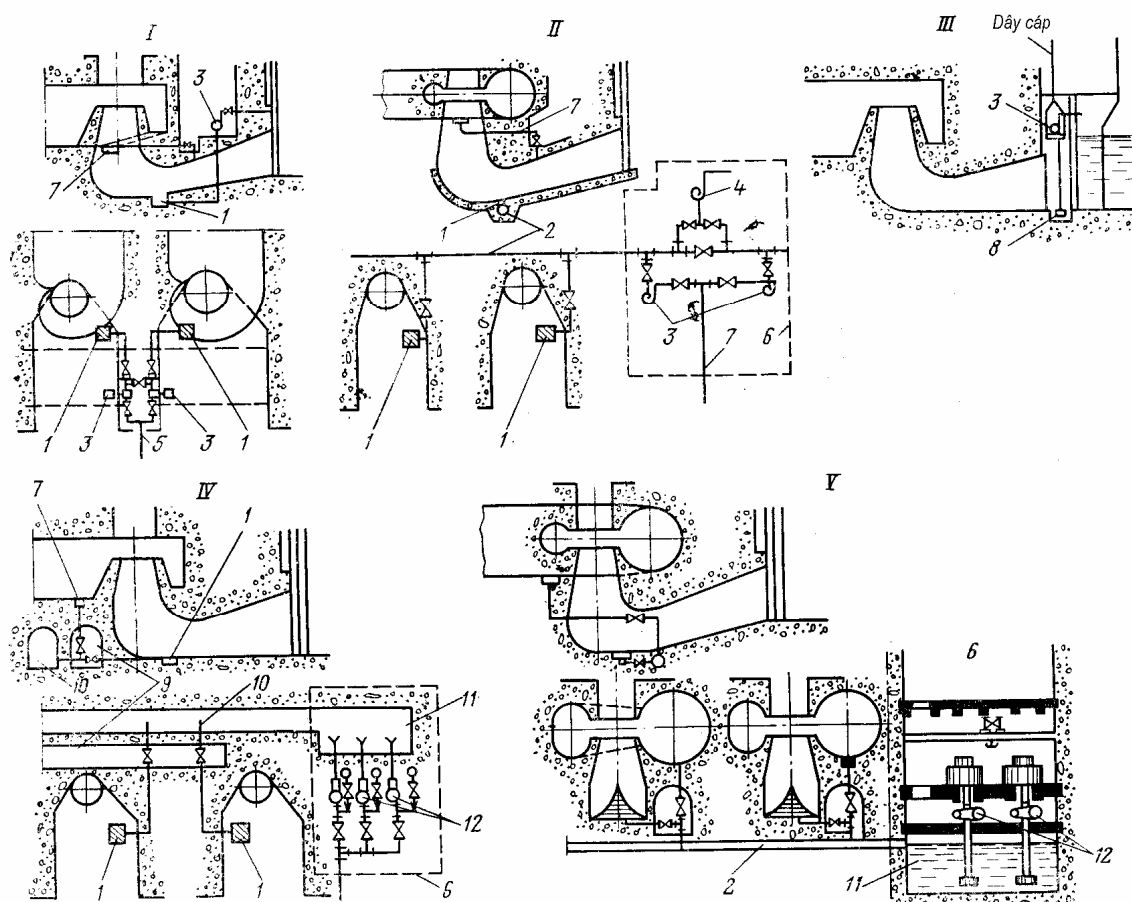
Khi độ cao hút dương và mực nước thấp, buồng xoắn đặt cao hơn mực nước hạ lưu thì dùng phương pháp tự tháo, phần nước còn lại dùng máy bơm bơm xuống hạ lưu. Ở trạm thủy điện tùy thuộc vào công suất và số lượng tổ máy , sơ đồ bố trí hệ thống tập trung nước và bơm nước cũng khác nhau. Dưới đây trình bày một số phương án bố trí hệ thống tập trung nước và bơm nước.

Đối với nhà máy thủy điện công suất không lớn, số tổ máy ít dùng sơ đồ I Hình 1-23 mỗi tổ máy đặt một máy bơm với mục đích tăng hiệu suất bơm và yêu cầu thời gian bơm không vượt quá 2÷4 h.

Đối với trạm thủy điện công suất trung bình lắp turbin tâm trục (turbin PO) có đường kính bánh xe công tác không lớn, yêu cầu thời gian bơm cạn từ 2÷4 h có thể dùng sơ đồ II, toàn bộ máy bơm đặt dưới gian lắp ráp. Máy bơm nối trực tiếp với hệ thống đường ống tháo nước từ các tổ máy. Với nhà máy thủy điện công suất tổ máy nhỏ, số tổ máy ít trong thực tế thường dùng máy bơm di chuyển để bơm cạn nước trong tổ máy khi sửa chữa như sơ đồ hình III.

Những nhà máy thủy điện có công suất lớn, số tổ máy nhiều thường áp dụng sơ đồ IV và V. Một trạm bơm chính đặt dưới gian lắp ráp, nước từ buồng xoắn, ống hút theo các đường ống đặt trong hành lang dẫn đến buồng tập trung nước. Tại đây nước được

bơm xả xuống hạ lưu nhà máy. Phương thức này cho phép tăng thời gian bơm trực tiếp, vì khi tiến hành sửa chữa nước trong buồng xoắn, ống hút xả ra hành lang đến giếng tập trung nước nhanh. Lưu tốc trong đường ống dẫn đến giếng tập trung nước thường từ 2÷3m/s.



**Hình 1-23.** Các sơ đồ bố trí hệ thống tháo nước tổ máy

I - Mỗi tổ máy bố trí một máy bơm; II- Máy bơm bố trí tập trung; III- Máy bơm di chuyển; IV- Hành lang tập trung nước và máy bơm bố trí tập trung; V- Dùng ống dẫn nước đến bể tập trung nước và bố trí máy bơm bơm cạn nước.

## 5. Hệ thống tiêu nước

Hệ thống tiêu nước ở trạm thủy điện chủ yếu giải quyết vấn đề nước thấm qua bê tông, nền móng, các khớp nối..vv.. Nó gồm các đường ống hoặc rãnh tiêu đặt ở cao trình rất thấp. Nước sẽ được bơm ra khỏi nhà máy bằng máy bơm đóng mở tự động bằng rơ le phao.

### 1.6.3. Nguyên tắc bố trí các hệ thống thiết bị phụ

Khi bố trí các hệ thống thiết bị phụ phải chú ý các yêu cầu sau:

1. Thiết bị phụ về điện, các loại cáp điện nên bố trí dưới tầng máy phát về một bên nhà máy (phía thượng lưu hoặc hạ lưu nhà máy) còn phía bên kia bố trí đường ống của các hệ thống thiết bị phụ, hệ thống dầu, nước, khí tuyệt đối không được bố trí lẫn lộn giữa chúng.

2. Lắp đặt các hệ thống thiết bị phụ phải đảm bảo thao tác dễ dàng, an toàn, thuận tiện cho việc kiểm tra bảo quản và sửa chữa.

3. Các phương án lắp đặt các hệ thống thiết bị phụ phải thoả mãn các yêu cầu về kinh tế như : tồn thất trong các hệ thống thiết bị phụ nhỏ nhất, tiết kiệm kim loại, giá thành rẻ đồng thời phải bảo đảm yêu cầu mỹ quan của nhà máy.

4. Thi công, lắp ráp các hệ thống thiết bị phụ nhanh không làm ảnh hưởng đến vận hành tổ máy và các thiết bị khác.

#### **1.6.4. Thiết bị kiểm tra đo lường**

Ở các nhà máy thủy điện để bảo đảm chế độ vận hành bình thường của tổ máy, trong nhà máy thủy điện đặt một loạt đồng hồ và các thiết bị đo. Dựa vào chức năng của nó người ta chia ra làm nhiều bộ phận.

Phần lớn các đồng hồ và thiết bị đo đặt trong nhà máy để kiểm tra tình trạng và chế độ làm việc của tổ máy, kiểm tra chế độ phụ tải điện, chất lượng điện, lưu lượng, cột nước, công suất..vv..

Toàn bộ những thông tin về chế độ làm việc của trạm thủy điện, các thông số chủ yếu của nó được dẫn đến phòng điều khiển trung tâm và cũng từ đây các nhân viên vận hành thao tác, theo dõi hoạt động của toàn trạm. Ở các tủ điều khiển lắp các đồng hồ đo để kiểm tra toàn bộ sự làm việc của các thiết bị động lực, tín hiệu ngừng máy, về chế độ cấp cứu như áp suất tăng lên trong một hệ thống nào đó hoặc nhiệt độ dầu tăng lên ở các ổ chặn chính, mực nước vượt quá mực nước tính toán..vv..

Toàn bộ cáp dẫn từ các đồng hồ và các thiết bị đo đến phòng điều khiển trung tâm thường bố trí tầng dưới phòng điều khiển thường gọi là phòng cáp điện với chiều cao thường 2,2÷2,5 m.

Ngoài các thiết bị kiểm tra đo lường của nhà máy thủy điện còn có các thiết bị tự động để đóng và cắt mạch khi xuất hiện chế độ công tác bị phá hoại hoặc xảy ra sự cố.

Mặt khác để kiểm tra tình trạng của nhà máy người ta đặt các thiết bị và đồng hồ đo độ lún của nhà máy, độ nghiêng, hệ số biến dạng từng phần và toàn bộ kết cấu, ứng suất và chấn động. Một số thiết bị này trong thời kì xây dựng được đặt và quan trắc độ lún, sự chuyển dịch, biến dạng và độ võng của nhà máy.

### **1.7. PHẦN ĐIỆN CỦA NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN**

#### **1.7.1. Các bộ phận chủ yếu phần điện trong nhà máy thủy điện**

Các máy phát thủy lực hiện nay có điện áp định mức không vượt quá 20 KV, vì thế khi tải điện đưa xa phải nâng điện áp 35÷1000 KV và có thể lớn hơn nữa.

Điện năng do nhà máy điện sản xuất đưa vào mạng lưới điện chung để cung cấp cho các hộ dùng điện. Việc cung cấp điện ở điện áp máy phát chỉ dùng cho các hộ ở gần và công suất không lớn, còn các hộ ở xa phải qua máy nâng áp (máy biến thế).

Khoảng cách tải điện từ nhà máy đến các hộ dùng điện khác nhau, yêu cầu điện áp cũng khác nhau. Điện năng của nhà máy sản xuất ra chia làm hai phần: phần điện áp cao đưa vào mạng lưới điện chung và phần điện áp thấp cho điện tự dùng của nhà máy.

Phần điện của nhà máy thủy điện gồm:

- 1- Máy phát điện thủy lực
- 2- Máy biến thế chính
- 3- Trạm phân phối điện cao thế gồm: máy biến thế, máy cắt điện, cầu dao cách li cho đến đường dây cao thế.
- 4- Bộ phận phân phối điện thế máy phát còn gọi là bộ phận điện thế thấp từ máy phát điện đến máy biến thế tự dùng.
- 5- Bộ phận điện tự dùng.
- 6- Bộ phận tiếp đất và chống sét.
- 7- Bộ phận đo lường điện và rơ le bảo vệ.

### 1.7.2. Các loại sơ đồ đấu điện chính

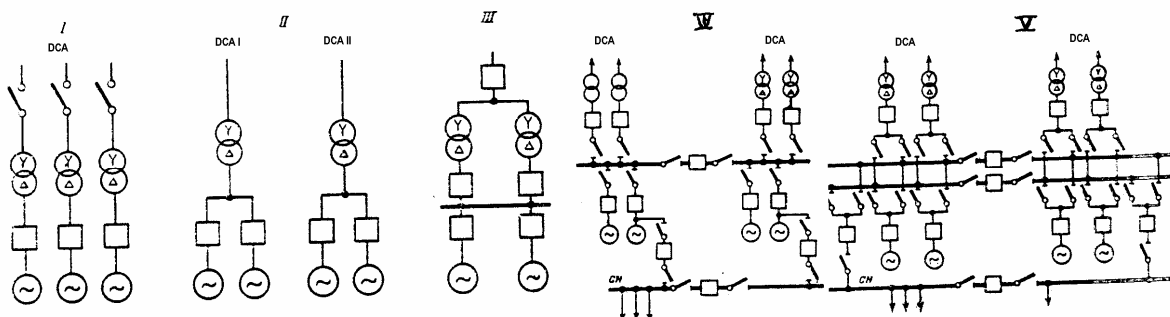
Việc bố trí bộ phận phân phối điện áp máy phát và cao áp có liên quan đến sơ đồ đấu điện. Tùy thuộc vào công suất và số tổ máy, vai trò nhà máy trong hệ thống điện. Phần lớn nhà máy thủy điện thường dùng các sơ đồ đấu điện sau:

#### 1. Sơ đồ bộ (Hình 1-24-I)

Mỗi tổ máy đấu trực tiếp với một máy biến thế, máy biến thế đấu với đường dây cao thế. Sơ đồ này thường dùng ở những nhà máy thủy điện có công suất lớn làm việc trong hệ thống điện quan trọng. Khi một tổ máy ngừng vận hành vì một lý do kỹ thuật nào đó không ảnh hưởng đến việc cung cấp điện, phần điện đó sẽ do trạm điện khác trong hệ thống thay thế. Để thực hiện sự chuyển mạch và cắt mạch và để an toàn cho đường dây cao thế phải lắp các thiết bị cầu dao cách li.

#### 2. Sơ đồ bộ mở rộng (hình 1-24-II)

Hai hoặc nhiều máy phát đấu với một máy biến thế (hoặc một nhóm máy biến thế một pha), máy biến thế đấu với đường dây cao thế. Với sơ đồ này khi một máy biến thế có sự cố thì hệ thống điện sẽ lập tức mất hai tổ máy, song sự cố đối với máy biến thế ít xảy ra. Sơ đồ này thường dùng ở các nhà máy thủy điện lớn nhiều tổ máy làm việc trong hệ thống điện lực lớn.





### **Hình 1-24. Các phương án sơ đồ đấu điện**

#### **3. Sơ đồ hệ thống thanh góp (Hình 1-24-III)**

Tất cả các máy phát điện đấu vào thanh góp ở điện áp máy phát, các máy biến thế chính cũng được đấu với thanh góp thứ 2 và đưa vào hệ thống điện. Tùy theo tính chất của hộ dùng điện, hệ thống thanh góp có thể là đơn hoặc kép, có phân đoạn hoặc không phân đoạn.

Để đảm bảo việc cung cấp điện an toàn và liên tục người ta dùng hệ thống thanh góp đơn có phân đoạn (Hình 1-24-IV) hoặc hệ thống thanh góp kép có phân đoạn (Hình 1-24-V)

Sơ đồ hệ thống thanh góp thường dùng khi có nhiều hộ dùng điện tại chỗ. Điện tự dùng cho nhà máy cũng lấy từ thanh góp điện áp máy phát.

#### **1.7.3. Máy biến thế chính**

##### **1. Mục đích yêu cầu khi bố trí máy biến thế**

Khi nghiên cứu phương án bố trí máy biến thế ở các nhà máy thủy điện cần phải xem xét đặc điểm từng loại nhà máy trong hệ thống công trình đầu mối thủy lợi. Trạm biến thế càng gần gian máy càng thuận tiện, không những giảm tổn thất điện năng từ máy phát đến máy biến thế còn tiết kiệm được cáp dẫn, giảm bớt cơ hội phát sinh sự cố. Trong một số trường hợp đặc biệt như nhà máy thủy điện ngầm thường bố trí máy biến thế trong gian máy.

Trước khi tiến hành bố trí máy biến thế, việc đầu tiên phải nắm được số lượng máy biến thế và kích thước bao ngoài của nó. Số lượng máy biến thế phụ thuộc vào sơ đồ đấu điện của nhà máy thủy điện, thường có xu hướng hai máy phát chung một máy biến thế, như vậy giảm được số lượng máy biến thế đầu dây đơn giản, về mặt vận hành thuận tiện, giá thành công trình giảm, song nếu công suất lớn trọng lượng máy biến thế tăng. Khi nhà máy thủy điện xây dựng ở những địa điểm giao thông không được thuận tiện, công suất máy biến thế thường bị điều kiện vận chuyển hạn chế. Vì vậy, khi chọn số lượng máy, công suất máy cần phải xem xét đến việc vận chuyển, phải tiến hành so sánh phương án rồi mới quyết định.

Trong quá trình vận hành nhà máy thủy điện, khi kiểm tra và sửa chữa máy biến thế thường sử dụng cầu trục trong gian máy. máy biến thế công suất lớn thường trọng lượng lớn và kích thước bao ngoài lớn, việc vận chuyển gặp khó khăn. Do đó, khi bố trí máy biến thế cần phải xem xét đầy đủ các yếu tố trên và tuân thủ một số nguyên tắc dưới đây.

- Vị trí máy biến thế nên đặt gần gian máy, nhằm rút ngắn cáp dẫn, tiết kiệm kim loại, vận hành thuận tiện giảm phát sinh sự cố

- Cao trình đặt máy biến thế nên cùng cao trình sàn lắp ráp để sử dụng cầu trục trong gian máy khi sửa chữa. Nếu vì sửa chữa máy biến thế mà chiều cao gian máy phải nâng lên thì trong trường hợp đó ở sàn lắp ráp phải có hố đặt máy biến thế, khi sửa chữa dùng cầu trục cầu lõi thép ra.

□ Kích thước mặt bằng phải đủ để bố trí máy biến thế và thuận lợi khi di chuyển dọc và di chuyển ngang.

□ Máy biến thế phải đặt ở cao trình không bị ngập.

Ở những nhà máy thủy điện có công suất máy biến thế nhỏ, trọng lượng nhẹ khi di chuyển đến gian lắp ráp sửa chữa thường dùng hệ thống tời hoặc các con lăn đặc biệt để di chuyển. Đối với máy biến thế công suất lớn, kích thước mặt bằng lớn thường 6x8 m và trọng lượng có thể trên 300 T thường di chuyển theo 3 hoặc 4 đường ray.

Trong thực tế xây dựng các loại trạm thủy điện có nhiều phương án bố trí máy biến thế khác nhau, song phải tuân thủ những nguyên tắc trên.

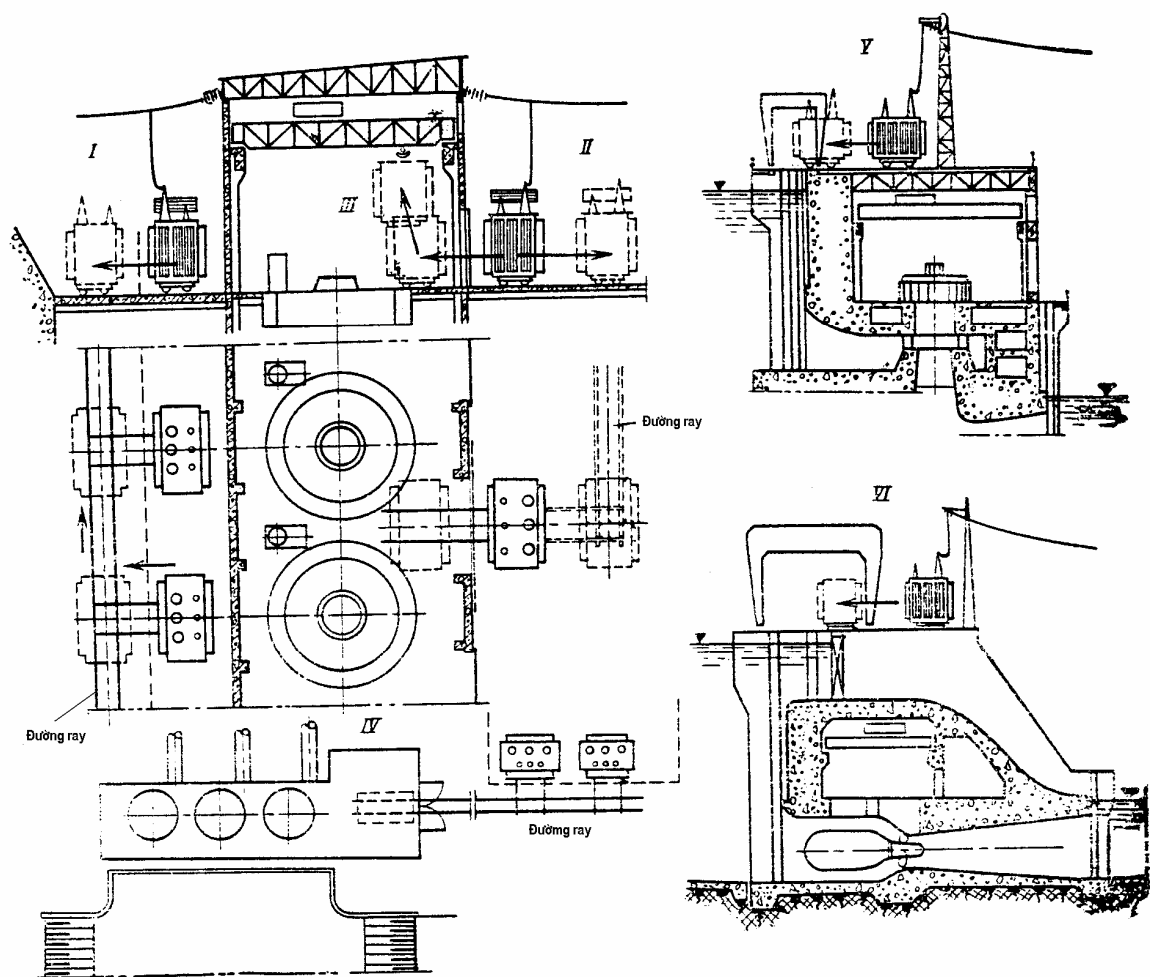
## ***2. Các phương án bố trí máy biến thế đối với các loại nhà máy thủy điện trong hệ thống công trình năng lượng***

Đối với nhà máy thủy điện sau đập do kết cấu giữa nhà máy với đập tương đối rộng có thể bố trí máy biến thế trong khoảng không gian đó, nếu trong trường hợp kích thước không đủ để đặt đường ray và di chuyển máy biến thế đến gian sửa chữa thì có thể xê dịch nhà máy về phía hạ lưu (hình 1-25-I). Với trường hợp trên phải thông qua các phương án so sánh về kinh tế và kỹ thuật mới quyết định.

Nếu đập dâng bằng vật liệu địa phương mà nhà máy sau đập hoặc nhà máy thủy điện đường dẫn đường ống áp lực đặt lộ thiên thì máy biến thế bố trí bên bờ sông nhà máy là hợp lý nhất (Hình 1-25-IV)

Nhà máy thủy điện ngang đập do kích thước ống hút tương đối dài, tầng trên ống hút có diện tích rộng đủ bố trí đường ray di chuyển, trong trường hợp này máy biến thế đặt ở vị trí này là hợp lý nhất (Hình 1-25II). Khi sửa chữa máy biến thế có thể đưa vào gian máy sau đó dùng cầu trục di chuyển đến gian sửa chữa (Hình 1-25-III).

Với nhà máy thủy điện kết hợp xả lũ, thường máy biến thế đặt trên sân thượng nhà máy (Hình 1-25V) hoặc đặt trên trụ pin của nhà máy (Hình 1-25-VI). Với cách bố trí này khi di chuyển máy biến thế đến gian lắp ráp phải dùng cầu trục riêng cầu máy biến thế từ trên xuống rồi đưa vào gian lắp ráp, hoặc dùng giếng đứng xây trong đập chuyển máy biến thế từ trên xuống rồi đưa vào gian lắp ráp.



**Hình 1-25.** Các phương án bố trí máy biến thế

#### 1.7.4. Vị trí bố trí trạm phân phối điện cao thế

Trạm phân phối điện cao thế thường bố trí ngoài trời. Vị trí của nó nên gần nhà máy cạnh trạm biến thế và thuận tiện cho giao thông. Nền móng cao trình phải tốt và cao hơn mực nước lũ hạ lưu lớn nhất. Ở nhà máy thủy điện ngang đập hoặc nhà máy thủy điện sau đập cột nước trung bình người ta thường đặt các thanh góp điện thế cao trên cùng một độ cao và trạm phân phối điện cao thế phát triển theo chiều rộng. Ở nhà máy thủy điện đường dẫn hoặc sau đập cột nước cao khi không đủ diện tích thì người ta bố trí thanh góp hai hoặc ba tầng theo chiều cao.

**Bảng 1-1**

| Điện thế (KV) | Diện tích (m2) | Điện thế (KV) | Diện tích (m2) |
|---------------|----------------|---------------|----------------|
|---------------|----------------|---------------|----------------|

|     |      |     |       |
|-----|------|-----|-------|
| 35  | 240  | 330 | 2640  |
| 110 | 480  | 550 | 4800  |
| 150 | 880  | 750 | 11480 |
| 220 | 1350 |     |       |

Chiều rộng của trạm phân phối điện cao thế ngoài trời tính như sau:

**Bảng 1-2.**

|                                            |    |     |     |
|--------------------------------------------|----|-----|-----|
| Điện thế (KV)                              | 35 | 110 | 220 |
| Bước của ô(m)                              | 6  | 8   | 15  |
| Chiều rộng trạm phân phối điện cao thế (m) | 60 | 80  | 135 |

Trạm phân phối điện cao thế hai tầng tuy chiếm diện tích nhỏ hơn nhưng khối lượng sắt thép tốn nhiều hơn, diện tích thi công lắp ráp hẹp, vì thế chỉ dùng khi nào không đủ diện tích để bố trí trạm phân phối cao thế một tầng

Kích thước của trạm phân phối cao thế ngoài trời phụ thuộc vào sơ đồ đấu điện, thiết bị phân phối, song cũng có thể tính sơ bộ xuất phát từ bước của các ô. Ở mỗi ô bao gồm máy đóng cắt, cầu dao cách li và các máy móc khác, tùy thuộc vào điện thế mà nó có kích thước khác nhau. Trong thực tế xây dựng có thể căn cứ vào điện thế từ đó sơ bộ xác định diện tích của trạm phân phối điện cao thế.

#### **1.7.5. Vị trí bố trí bộ phận phân phối điện thế máy phát điện**

Bộ phận phân phối điện thế máy phát điện thường đặt ngay trong nhà máy hoặc trong phòng cạnh nhà máy nằm giữa máy phát điện và máy biến thế, bố trí như vậy đặt cáp dẫn thuận tiện và ngắn nhất.

Với sơ đồ đấu điện là sơ đồ bộ hoặc sơ đồ bộ mở rộng nên bố trí phân tán máy cắt điện thế máy phát để rút ngắn đường dây tránh thao tác nhầm lẫn. khi sơ đồ đấu điện là sơ đồ hệ thống thanh góp tốt nhất nên bố trí tập trung các máy cắt trong phòng phân phối điện thế máy phát.

Phụ thuộc vào kiểu nhà máy thủy điện, công suất tổ máy, kích thước và kết cấu nhà máy, bộ phận phân phối điện thế máy phát có thể có các phương án bố trí như sau:

1. Ở phía hạ lưu nhà máy thủy điện ngang đập cột nước thấp thường có ống hút dài, trên tầng ống hút rộng có thể bố trí được. Cách bố trí này rất thuận tiện và kinh tế.
2. Ở phía thượng lưu nhà máy thủy điện sau đập có đường kính tua bin lớn và nhà máy thủy điện đường dẫn cột nước trung bình, có thể bố trí phòng phân phối điện thế máy phát ở khoảng trống giữa đập và nhà máy là hợp lý nhất.
3. Ở đầu nhà máy thủy điện đường dẫn cột nước cao kết hợp với việc bố trí trạm phân phối điện ngoài trời ở ngay cạnh nhà máy.

4. Đặt một phòng riêng cạnh nhà máy chính, phần lớn thường dùng ở các nhà máy thủy điện đường dẫn cột nước cao, kích thước không lớn.

Kích thước phòng phân phối điện thể máy phát được xác định trên cơ sở sơ đồ đầu điện, số tổ máy và số đầu dây dẫn tự dùng. Trong trường hợp cao trình phòng phân phối điện thể máy phát đặt dưới mực nước hạ lưu cao nhất phải có biện pháp chống thấm thật tốt.

Hiện nay người ta chế tạo thiết bị phân phối điện thành bộ dưới dạng tủ, trong đó các chi tiết đều lắp sẵn tại xưởng, khi xây dựng nhà máy chỉ chuyên chở đến lắp đặt tại vị trí đã được xác định. Trong trường hợp này diện tích phòng phân phối điện thể máy phát nhỏ, vận hành an toàn.

Chiều cao của phòng vào khoảng 4÷5 m. Dưới phòng phân phối điện thể máy phát dọc theo chiều dài phải có tầng cáp điện.

Bộ phận điện tự dùng cho nhà máy và cho toàn trạm có nhiệm vụ cung cấp điện cho các hộ dùng điện sau đây:

a) Trong quá trình vận hành phải cung cấp điện liên tục cho hệ thống dầu, khí, cung cấp nước kỹ thuật, hệ thống máy kích từ, hệ thống đóng mở van sự cố, hệ thống ánh sáng cho các phòng phục vụ, hệ thống máy đóng cắt và cầu dao cách li..vv..

b) Cung cấp điện theo thời gian cho hệ thống tiêu nước tổ máy, hệ thống tiêu nước cho nhà máy, hệ thống ánh sáng bên ngoài và ánh sáng cho các phòng sinh hoạt..vv..

c) Cung cấp điện cho hệ thống lọc dầu, xưởng sửa chữa và các kho..vv..

Điện tự dùng lớn nhất chiếm vào khoảng 0,5-1% công suất lắp máy của trạm thủy điện. công suất lắp máy càng lớn thì tỷ lệ công suất tự dùng càng nhỏ.

Hệ thống điện một chiều cũng thuộc bộ phận tự dùng, nó cấp điện cho các bộ phận quan trọng nhất yêu cầu phải làm việc chính xác ngay cả khi có sự cố ở trạm xoay chiều. Đó là các bộ phận điều khiển tự động, mạch rơ le bảo vệ, tín hiệu và chiếu sáng khi có sự cố. Nguồn điện một chiều thường dùng ắc quy, a xít với điện thế 220V cho các nhà máy thủy điện lớn và 110V cho các nhà máy thủy điện nhỏ. Thường dùng một bộ ắc quy nạp điện thường xuyên đối với nhà máy thủy điện nhỏ, hai bộ cho nhà máy thủy điện lớn.

Kích thước phòng phân phối điện thể máy phát, khi thiết kế sơ bộ có thể tham khảo dưới đây:

**Bảng 1-**

| Sơ đồ đầu điện         | Kích thước mặt bằng |                            |
|------------------------|---------------------|----------------------------|
|                        | Rộng (m)            | Dài (m)                    |
| Sơ đồ bộ               | 5-8                 | 8-15                       |
| Sơ đồ một hệ thanh góp | 6-8                 | Suốt chiều dài đoạn tổ máy |
| Sơ đồ hai hệ thanh góp | 6-8                 |                            |

## 1.8. CÁC PHÒNG PHỤ CỦA NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN

Ở nhà máy thủy điện, các thiết bị phụ và thiết bị đo lường bố trí trong các phòng riêng, phần lớn các phòng đó bố trí trong nhà máy. Theo chức năng có thể chia các phòng này thành hai nhóm: Phòng đặt các thiết bị điều khiển thường gọi là phòng thao tác, phòng bố trí các thiết bị để sửa chữa và trạm vận hành các thiết bị thường gọi là phòng sản xuất. Ngoài các phòng trên còn bố trí các phòng làm việc, Phòng sử dụng công cộng như câu lạc bộ, các phòng phục vụ sinh hoạt và đời sống vv...

Ở những trạm thủy điện ngang đập, kích thước lớn nhiều tổ máy, kích thước buồng xoắn, ống hút lớn, trong phạm vi các tầng trong nhà máy có thể bố trí tất cả các phòng cần thiết cho vận hành tổ máy. Còn ở những trạm thủy điện công suất không lớn, hoặc trạm thủy điện cột nước cao, do kích thước buồng xoắn, ống hút nhỏ không thể bố trí tất cả các phòng trong nhà máy, vì vậy có một số phòng đưa ra ngoài, bố trí gần nhà máy.

Diện tích toàn bộ các phòng bố trí thiết bị phụ, phục vụ cho vận hành nhà máy tùy thuộc vào công suất và vị trí nhà máy trong hệ thống công trình năng lượng. Nếu nhà máy xây dựng trong hệ thống bậc thang, một số phòng thiết bị phụ có thể hợp nhất sử dụng chung cùng hệ thống trên bậc thang.

Ở những trạm thủy điện lớn diện tích toàn bộ các phòng thao tác thường từ 1500-2000m<sup>2</sup>, diện tích các phòng sản xuất, quản lý từ 800-1000m<sup>2</sup>.

Trong xây dựng trạm thủy điện, để phát huy hiệu quả kinh tế thường đưa tổ máy thứ nhất vào vận hành sớm. Vì vậy trong phạm vi đoạn tổ máy đó và gian lắp ráp kề bên cần bố trí các phòng đặt các hệ thống và các thiết bị có liên quan để bảo đảm vận hành tổ máy như: Hệ thống tiêu nước tổ máy, hệ thống thoát nước tổ máy, hệ thống cung cấp nước kỹ thuật, hệ thống khí nén, hệ thống dầu vv... Các phòng thao tác như: Phòng đặt các tủ điều khiển, phòng dây cáp, phòng axit vv. Vị trí các phòng đó phải thuận tiện và hợp lý trong vận hành trước mắt và lâu dài. Phòng ác quy phải bố trí xa đường dây cáp dẫn điện và phải có hệ thống thông gió. Trong thực tế xây dựng, phòng điều khiển trung tâm bố trí gần nhà máy và cùng cao trình với gian máy. Diện tích mặt bằng của nó phụ thuộc vào công suất của trạm thủy điện, số lượng bảng điện và trình độ tự động hoá, trong nhà máy thường từ 80-100m<sup>2</sup>.

Để cung cấp điện thao tác các thiết bị và thắp sáng cho nhà máy khi xảy ra sự cố, ở trạm thủy điện thường sử dụng dòng điện một chiều. Đối với trạm thủy điện nhỏ, công suất dòng điện một chiều không lớn nên thường dùng các hòm ắc quy, bố trí các thiết bị này cũng đơn giản. Song công suất của trạm thủy điện lớn, số lượng ắc quy nhiều nên bố trí phòng để ắc quy và thiết bị nạp điện, phòng axit. Các phòng này phải có tường ngăn cách, có hệ thống thông gió riêng, bố trí cách li với hệ thống điện. Vị trí của phòng này nên bố trí ở tầng dưới gian phòng điều khiển trung tâm, nhưng phải có hành lang cách ly với phòng điều khiển trung tâm.

Tùy thuộc vào công suất của trạm thủy điện và vị trí của nó, các phân xưởng sửa chữa có thể bố trí ở tầng dưới gian lắp ráp hoặc các tầng khác trong nhà máy nhằm mục đích sửa chữa thường xuyên hoặc định kỳ sửa chữa một số thiết bị của tổ máy.

Khi trạm thủy điện xây dựng gần khu công nghiệp hoặc trên cùng hệ thống bậc thang thì kích thước và thiết bị trong các xưởng sửa chữa có thể giảm đi nhiều.

Ở trạm thủy điện đường dẫn và trạm thủy điện sau đập cột nước cao, do kích thước đoạn tổ máy và gian lắp ráp hẹp, cho nên các phân xưởng sửa chữa có thể đưa ra nhà máy phụ bố trí gần nhà máy chính. Khi bố trí các phòng phụ trong nhà máy, cần phải nghiên cứu mối liên hệ qua lại giữa các phòng được dễ dàng và thuận tiện, bảo đảm điều kiện vận hành tốt và an toàn.

Khu nhà quản lý của trạm thủy điện thường bố trí ở một đầu nhà máy hoặc phía thượng lưu và hạ lưu nhà máy. Khi thiết kế cần phải tính toán điều kiện ánh sáng, thông gió, hệ thống thang máy và các phương tiện giao thông đi lại.

Nhìn chung các phòng quản lý vận hành ở một nhà máy thủy điện bao gồm các thành phần sau:

- Các phòng có liên quan trực tiếp đến vận hành nhà máy ( các phòng thao tác ) gồm: Phòng điều khiển trung tâm và phòng cấp điện dưới nó, phòng trực ban và điều độ, phòng thông tin liên lạc, phòng ác quy, phòng nạp điện, phòng axit vv...

- Các phòng sản xuất gồm: Phòng sửa chữa cơ điện, phòng thủy công, phòng kiểm tra và sửa chữa các đồng hồ đo, phòng thí nghiệm điện thế cao, phòng hoá nghiệm dầu, phòng tái sinh dầu, phòng đặt thiết bị thông gió, phòng đặt máy bơm, phòng khí nén, trạm cung cấp nước kỹ thuật, kho dụng cụ vv..

- Phòng trực ban các bộ phận. Công nhân đường dây, công nhân bộ phận máy thủy lực, công nhân phòng hoá vv..

- Phòng hành chính gồm: Phòng giám đốc, phòng kỹ sư trưởng, văn phòng đảng uỷ và các đoàn thể, phòng kỹ thuật, phòng hội họp, phòng sự vụ, phòng y tế, hội trường, vv.... Ngoài ra còn có phòng phục vụ sinh hoạt và đời sống.

Dưới đây giới thiệu kích thước các phòng thao tác và phòng sản xuất ở một trạm thủy điện có công suất 1 triệu KW để tham khảo.

| Tên các phòng                             | Diện tích m <sup>2</sup> |
|-------------------------------------------|--------------------------|
| Phòng điều khiển trung tâm                | 80-100                   |
| Phòng dây cáp (tầng dưới phòng trung tâm) | 80-100                   |
| Phòng thông tin liên lạc                  | 30                       |
| Phòng ac quy                              | 40-60                    |
| Phòng axit                                | 10                       |
| Phòng nạp điện                            | 20                       |
| Phòng thí nghiệm điện                     | 60                       |
| Phòng khí nén                             | 30-40                    |
| Phòng máy bơm                             | 20-30                    |
| Phòng để dầu                              | 50-100                   |
| Phòng cung cấp nước kỹ thuật              | 30-40                    |
|                                           | 150-200                  |

|                     |       |
|---------------------|-------|
| Phân xưởng điện     | 120   |
| Phân xưởng tuốc bin | 400   |
| Phân xưởng cơ khí   | 30-50 |
| Kho dụng cụ         |       |

### **Câu hỏi chương 1**

1. Khái niệm về các công trình trên tuyến năng lượng và nhà máy thủy điện.
2. Công dụng và sơ đồ công nghệ các loại thiết sử dụng trong nhà máy thủy điện.
3. Các thành phần và đặc điểm cấu tạo của các thành phần kết cấu phần dưới nước nhà máy thủy điện trực đứng.
4. Các thành phần và đặc điểm cấu tạo của các thành phần kết cấu phần trên nước nhà máy thủy điện trực đứng.
5. Các thành phần và đặc điểm cấu tạo của các thành phần kết cấu nhà máy thủy điện trực ngang.
6. Nguyên lý chung bố trí các thiết bị chính và phụ trong nhà máy thủy điện và xác định kích thước cơ bản của nhà máy. Các yếu tố ảnh hưởng.
7. Nguyên lý xác định kích thước chiều rộng (theo chiều dòng chảy), chiều dài (vuông góc với dòng chảy) của tổ máy thủy điện trực đứng.
8. Nguyên lý xác định các cao trình chủ yếu của nhà máy thủy điện với turbin phản kích trực đứng.
9. Cách xác định kích thước mặt bằng phần trên nước nhà máy thủy điện trực đứng.
10. Công dụng của gian lắp máy, nguyên lý xác định kích thước gian lắp máy nhà máy thủy điện.
11. Nguyên lý xác định kích thước nhà máy thủy điện với turbin trực ngang.
12. Nguyên lý bố trí các hệ thống thiết bị phụ của nhà máy thủy điện.
13. Nguyên lý bố trí các phòng vận hành của nhà máy thủy điện.
14. Nguyên lý bố trí máy biến áp và các hệ thống thiết bị điện của nhà máy thủy điện.



## **Chương II: ĐẶC ĐIỂM CẤU TẠO CỦA CÁC LOẠI NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN**

### **2.1. NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN LÒNG SÔNG (NGANG ĐẬP)**

#### **2.1.1. Đặc điểm của nhà máy thủy điện ngang đập**

Nhà máy Thủy Điện ngang đập là một phần của công trình dâng nước, chịu áp lực nước thượng lưu, đồng thời cũng là công trình lấy nước nối trực tiếp với tuốc bin. Với đặc điểm trên, kết cấu của loại nhà máy này chịu được  $H \leq 30 \div 40$  m. Những nhà máy ngang đập có công suất lớn và trung bình thường lắp turbin cánh quay trục đứng, hoặc dùng tuốc bin cánh quạt công suất nhỏ, cột nước dưới 20m. Những tổ máy lớn có thể có đường kính bánh xe công tác  $D_1=10 \div 10.5$ m, công suất tổ máy từ  $120 \div 150$  MW, Lưu lượng qua turbin từ  $650 \div 700$  m<sup>3</sup>/s. Do lưu lượng qua turbin lớn như vậy nên kích thước của buồng xoắn và ống hút rất lớn, người ta lợi dụng khoảng trống trên phần lồi của ống hút để bố trí các phòng phụ. Tầng trên cùng thường bố trí máy biến thế có đường ray để chuyển vào sửa chữa trong gian lắp ráp. Loại nhà máy này thường bố trí phần điện ở phía hạ lưu còn thượng lưu bố trí đường ống dầu, nước và khí nén. Một trụ phía thượng lưu của cửa lấy nước thường được kéo dài để bố trí cầu công tác và cầu cầu giao thông. Ngoài mục đích trên, cách bố trí này làm tăng tính ổn định nhà máy.

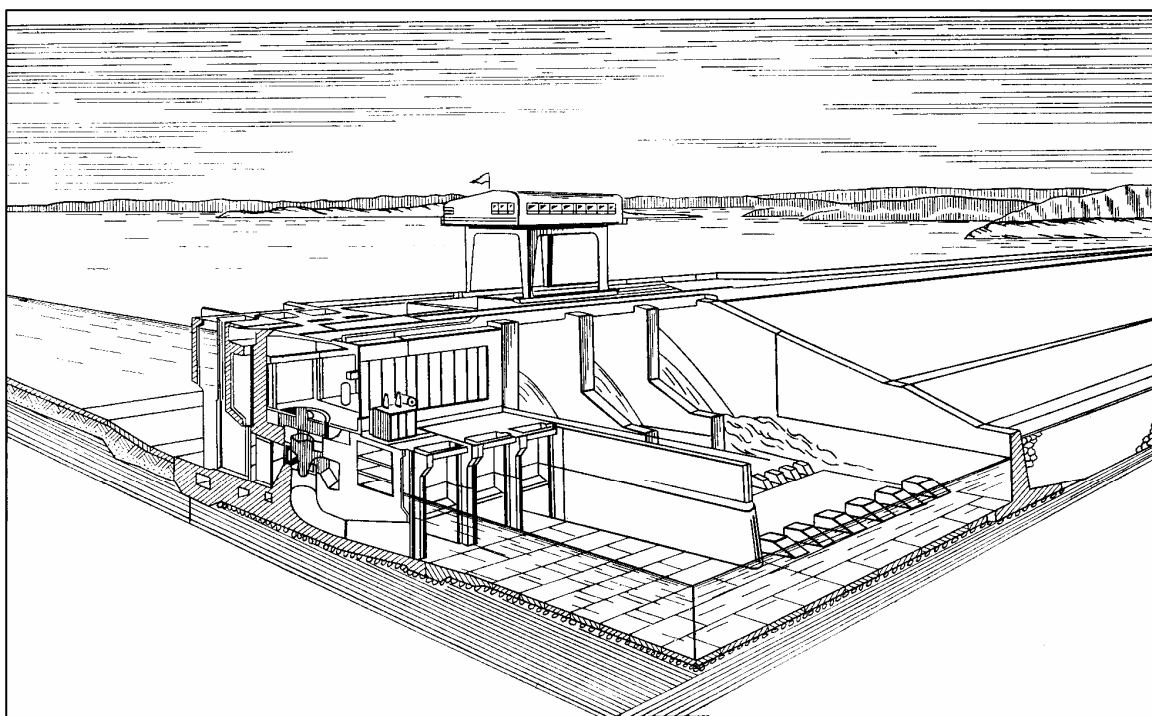
Một đặc điểm cần lưu ý đối với nhà máy thủy điện ngang đập, về mùa lũ cột nước công tác giảm, dẫn đến công suất tổ máy giảm, trong một số trường hợp nhà máy có thể ngừng làm việc. Để tăng công suất nhà máy trong thời kỳ lũ đồng thời giảm đập tràn, hiện nay trên thế giới người ta thiết kế nhà máy thủy điện ngang đập kết hợp xả lũ qua đoạn tổ máy. Nếu nghiên cứu bố trí một cách hợp lý công trình xả lũ trong đoạn tổ máy thì khi tràn làm việc có thể tạo thành những vị trí có thể tăng cột nước công tác của tuốc bin dẫn đến tăng công suất của trạm thủy điện.

Phần qua nước của tổ máy bao gồm : Công trình lấy nước, buồng xoắn và ống hút cong. Hình 2-1 là phối cảnh nhà máy thủy điện ngang đập không kết hợp xả lũ qua đoạn tổ máy.

Đối với trạm thủy điện ngang đập, cột nước thấp, lưu lượng lớn, chiều dài đoạn tổ máy thường xác định theo kích thước bao ngoài buồng xoắn và ống hút. ở mặt nằm ngang chiều rộng cửa lấy nước bằng chiều rộng mặt cắt cửa vào buồng xoắn và kích thước đó phải phù hợp với điều kiện lưu tốc cho phép qua lưới chắn rác. Chiều ngang đoạn tổ máy theo chiều dòng chảy phần dưới nước của nhà máy phụ thuộc vào kích thước cửa lấy nước, buồng xoắn tuốc bin và chiều dài ống hút, đồng thời việc tính toán ổn định nhà máy và ứng suất nền có quan hệ đến kích thước phần dưới nước của nhà máy đặc biệt đối với nền mềm.

Để giảm chiều cao phần dưới nước của nhà máy, trong thiết kế thường áp dụng mặt cắt buồng xoắn hình chữ T hướng xuống với đỉnh bằng, như vậy có thể cho phép rút ngắn chiều cao tầng tuốc bin và máy phát đặt gần tuốc bin hơn.

Để đảm bảo ổn định chống trượt và ứng suất đáy nền không vượt quá trị số cho phép, tấm đáy của nhà máy ngang đập nằm trên nền mềm thường có kích thước rất lớn. Lợi dụng chiều dày tấm đáy người ta bố trí ở thượng lưu dưới cửa lấy nước hành lang kiểm tra và thu nước.



*Hình 2-1. Nhà máy thủy điện ngang đập không kết hợp xả lũ qua đoạn tổ máy*

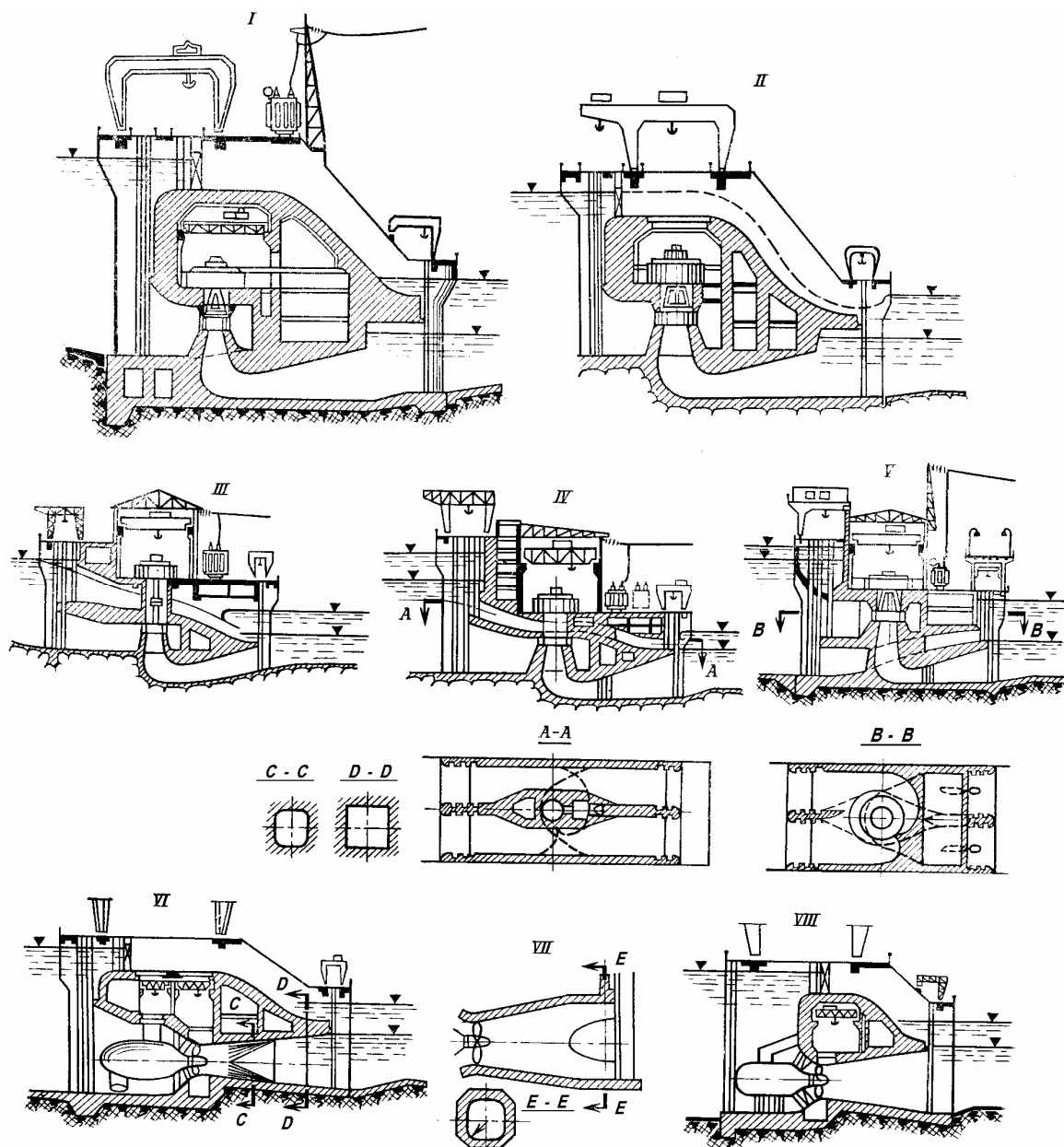
### **2.2.2. Các sơ đồ nhà máy thủy điện ngang đập kết hợp xả lũ**

Phần dưới nước của nhà máy thủy điện ngang đập kết hợp xả lũ có nhiều dạng kết cấu khác nhau tùy thuộc vào cột nước và kích thước tổ máy. (Hình 2-2)

Với cột nước từ 25÷40m nếu bố trí nhà máy thủy điện trong thân đập tràn sơ đồ I (Hình 2-2) thì các phòng phụ và phòng đặt các thiết bị phụ bố trí các tầng trên ống hút. Khi chuyển thiết bị đến gian lắp ráp dùng cầu trục đặt trên mố biên ở đỉnh đập chuyển xuống bằng giếng đứng, hoặc có sân tập kết thiết bị bố trí ở hạ lưu nhà máy, ở đó thiết bị được chuyển đến bằng đường sắt hoặc ô tô, sau sẽ đưa vào gian lắp ráp.

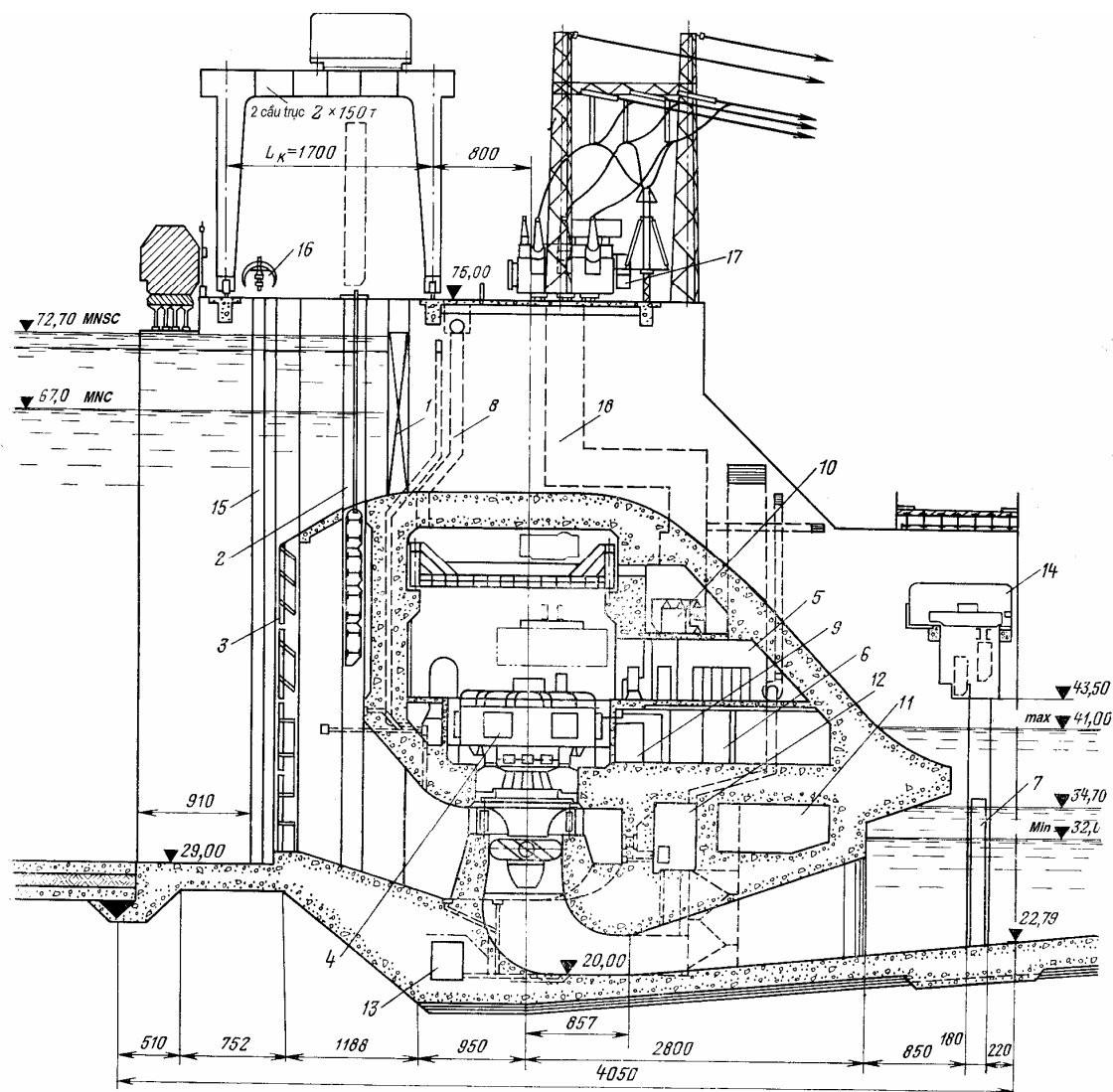
ở các trạm thủy điện cột nước thấp, đường kính bánh xe công tác  $D_1$  lớn công trình tràn xả lũ thường áp dụng sơ đồ II. Với sơ đồ này khi vận chuyển thiết bị dùng cầu trục đặt trên đỉnh đập tràn để thao tác chuyển vào gian máy, trong gian máy có thể bố trí thêm cầu trục phụ để cầu các cấu kiện có tải trọng nhỏ. Nhược điểm của sơ đồ này là nắp đập trên gian máy tuyệt đối kín.

Để khắc phục nhược điểm của các sơ đồ trên, trong thiết kế người ta nghiên cứu bố trí công trình xả lũ trên buồng xoắn sơ đồ III, với sơ đồ này trục tổ máy sẽ tăng, dẫn đến kết cấu phần dưới nước cũng tăng.



**Hình 2-2.** Sơ đồ các dạng nhà máy thủy điện ngang đập kết hợp xả lũ

Với kết cấu như sơ đồ IV, công trình xả lũ có áp bố trí trên buồng xoắn. Loại sơ đồ này có thể áp dụng với các cột nước khác nhau. Nhược điểm của sơ đồ này là cửa lấy nước turbin đặt sâu, tải trọng cửa van lớn, thao tác không thuận tiện, trục tổ máy dài, kết cấu phần dưới nước tăng. Trong thiết kế và vận hành ở các trạm thủy điện loại lớn người ta thấy rằng áp dụng sơ đồ V bố trí công trình xả lũ có áp dưới buồng xoắn là tốt nhất, vì nó loại trừ tất cả các nhược điểm của sơ đồ trên. Với sơ đồ này, để giảm độ sâu dưới móng nhà máy thường áp dụng buồng xoắn bê tông đối xứng có mặt cắt hướng lên phía trên và tăng chiều cao ống hút, như vậy có thể giảm được kích thước phần dưới nước của nhà máy.

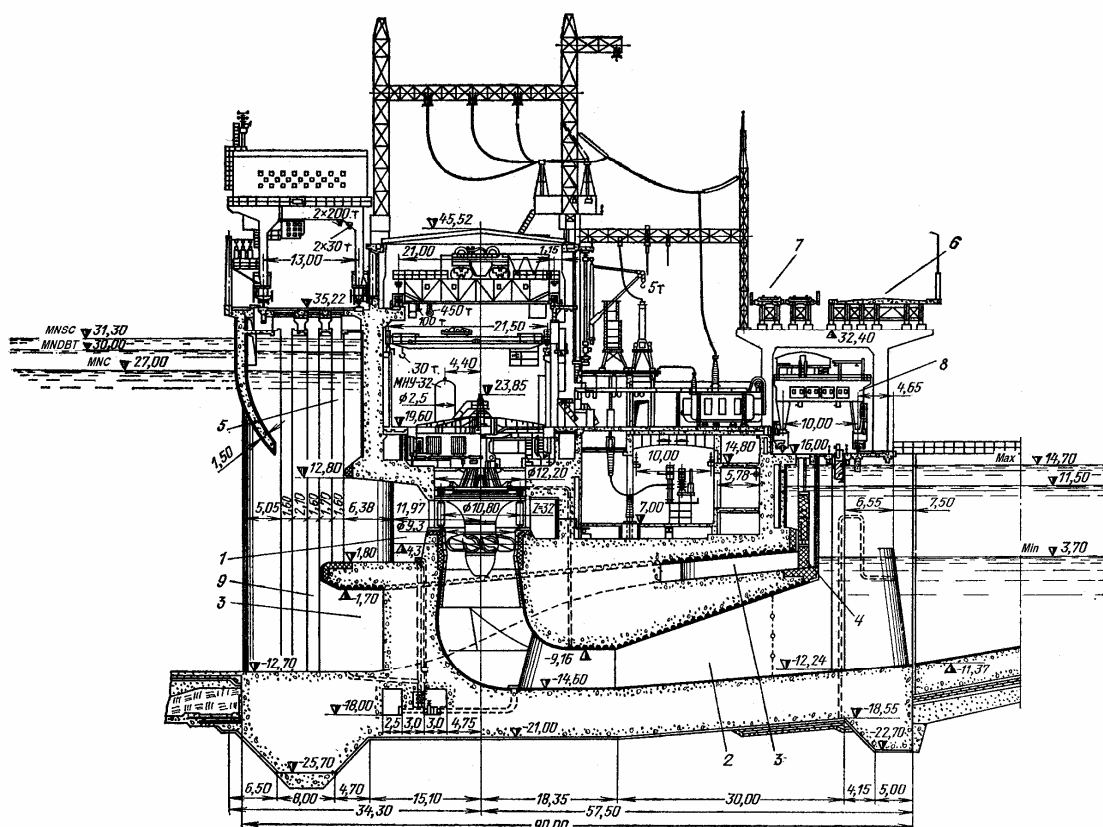


**Hình 2-3.** Nhà máy thủy điện trong thân đập tràn

1- Van xả lũ, 2- Van sửa chữa, 3- Lưới hắt rác, 4- Máy phát, 5- Phòng điều khiển, 6- Hành lang cấp, 7- Van sửa chữa ống hút, 8- ống thông hơi, 9- Phòng cung cấp nước kỹ thuật, 10- Thiết bị phân phối điện, 11- Khoang đổ đầy cát, 12- Hệ thống lọc nước kỹ thuật, 13- Hành lang tập trung nước, 14- Cầu trục thao tác van ống hút, 15- Rãnh vớt rác, 16- Máy vớt rác, 17- Máy biến thế, 18- Giếng dây cáp.

Kinh nghiệm thiết kế cho thấy rằng, khi áp dụng sơ đồ IV và V để bố trí tràn xả lũ, vì để bảo đảm sự làm việc ổn định của đường tràn, giảm dòng chảy phân bố không đều ở hạ lưu và sự xuất hiện mạch động nên phải bố trí tổ máy đối xứng. Để bảo đảm hiệu quả phun xiết lớn thì chiều dài đoạn tổ máy phải tăng từ 5-10% so với chiều dài đoạn tổ máy của nhà máy thủy điện không kết hợp. Như vậy, lưu lượng qua đường hàm xả tràn gấp 1.5÷2 lần lưu lượng qua tuốc bin và đạt hiệu quả phun xiết rất lớn dẫn đến tăng công suất tổ máy. Nếu tăng chiều cao ống hút hoặc chiều cao tương đối của

Dưới đây sẽ giới thiệu một số sơ đồ về nhà máy trạm thủy điện ngang đập kết hợp xả lũ. Hình 2-3 là nhà máy trạm thủy điện ngang đập bố trí trong thân đập tràn. Để giảm kích thước phần dưới nước của nhà máy, người ta áp dụng buồng xoắn bê tông có mặt cắt hướng xuống và lắp máy phát kiểu ô tựa trên nắp tuốc bin. Trong sơ đồ thể hiện việc bố trí một cách hợp lý các phòng thiết bị phụ của tổ máy.



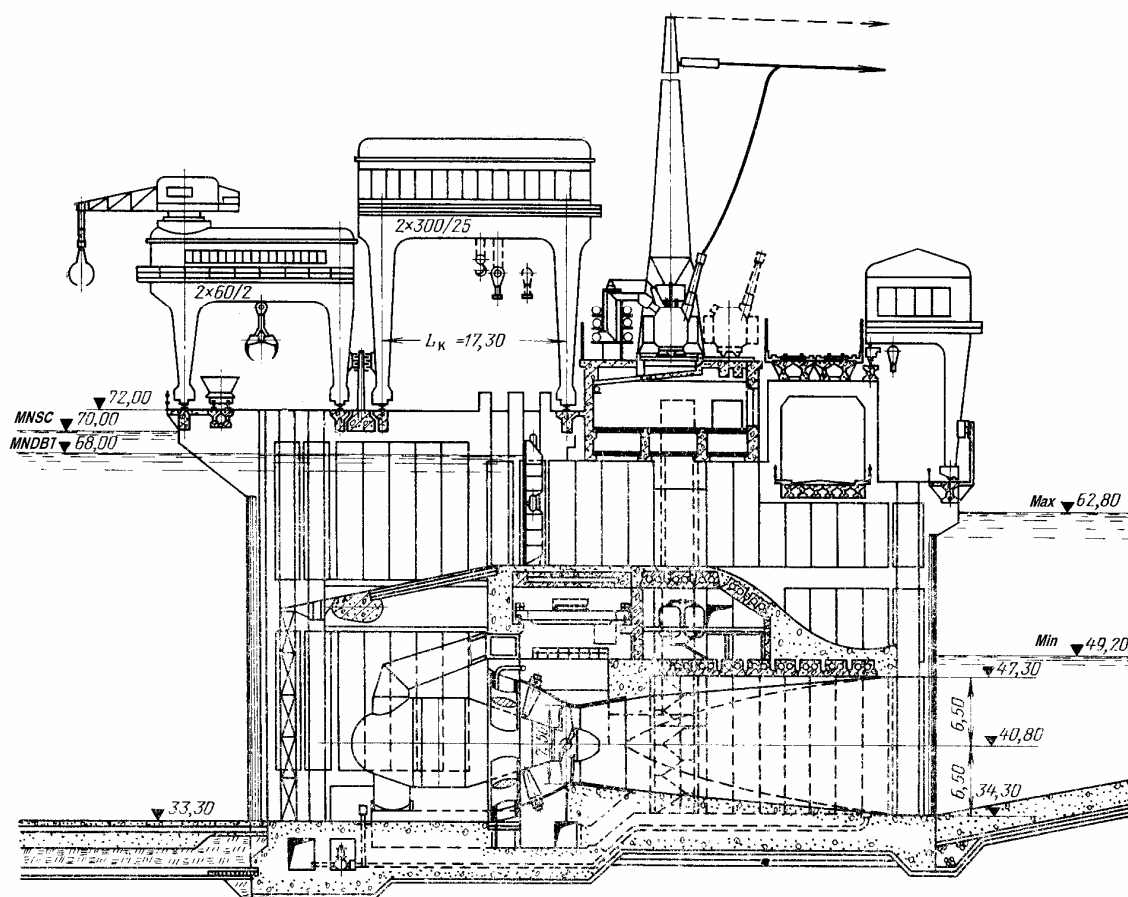
1- Buồng xoắn, 2- ống hút, 3- Trần có áp qua giữa buồng xoắn và ống hút, 4- Van xả tràn, 5- Van sửa chữa, 6- Đường ô tô, 7- Đường xe lửa, 8- Cầu trục nâng van xả tràn và ống hút, 9- van sửa chữa tràn có áp.

Qua kết quả nghiên cứu vận hành và thiết kế ở các trạm thủy điện kết hợp xả lũ về các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật cho thấy: Trong đoạn tổ máy bố trí công trình xả lũ thì tiết kiệm được vật liệu xây dựng ( Bê tông 20-30%, cốt thép 5-7%), song lượng thép cửa van và rãnh van tăng lên.

Để giảm giá thành xây dựng và giảm chiều cao phần dưới nước của nhà máy những năm gần đây các nước trên thế giới sử dụng rộng rãi tổ máy trục ngang turbin cấpxun chảy thẳng với cột nước dưới 20-25m. Hình 2-5 là một trong những nhà máy trạm thủy điện ngang đập dùng tuốc bin cấpxun chảy thẳng kết hợp xả lũ qua tổ máy.

Từ sơ đồ ta thấy, sử dụng tuốc bin cấpxun chảy thẳng cho phép giảm được độ sâu hố móng, kết cấu phần dưới nước cũng đơn giản hơn tổ máy trục đứng. Do áp dụng ống hút thẳng và không có buồng xoắn tuốc bin nên giảm được chiều dài đoạn tổ máy. Loại tuốc bin này do lưu lượng dẫn xuất  $Q'_1$  tăng, nên công suất tổ máy tăng so với tổ máy trục đứng cùng kích thước, bánh xe công tác  $D_1$  tuốc bin cấpxul chảy thẳng nhỏ hơn bánh xe công tác  $D_1$  tổ máy trục đứng.

So sánh kích thước của turbin chảy thẳng với turbin trục đứng khi cùng công suất (Hình 2-6) cho thấy với cột nước  $H=8$  m công suất  $N=20.000$  W, đường kính  $D_1$  của tổ máy trục đứng là 8 m còn tổ máy turbin cấpxul chảy thẳng 7 m nên công trình nâng cao được 1.3 m, chiều dài đoạn tổ máy từ 19.2 m giảm xuống còn 12 m.

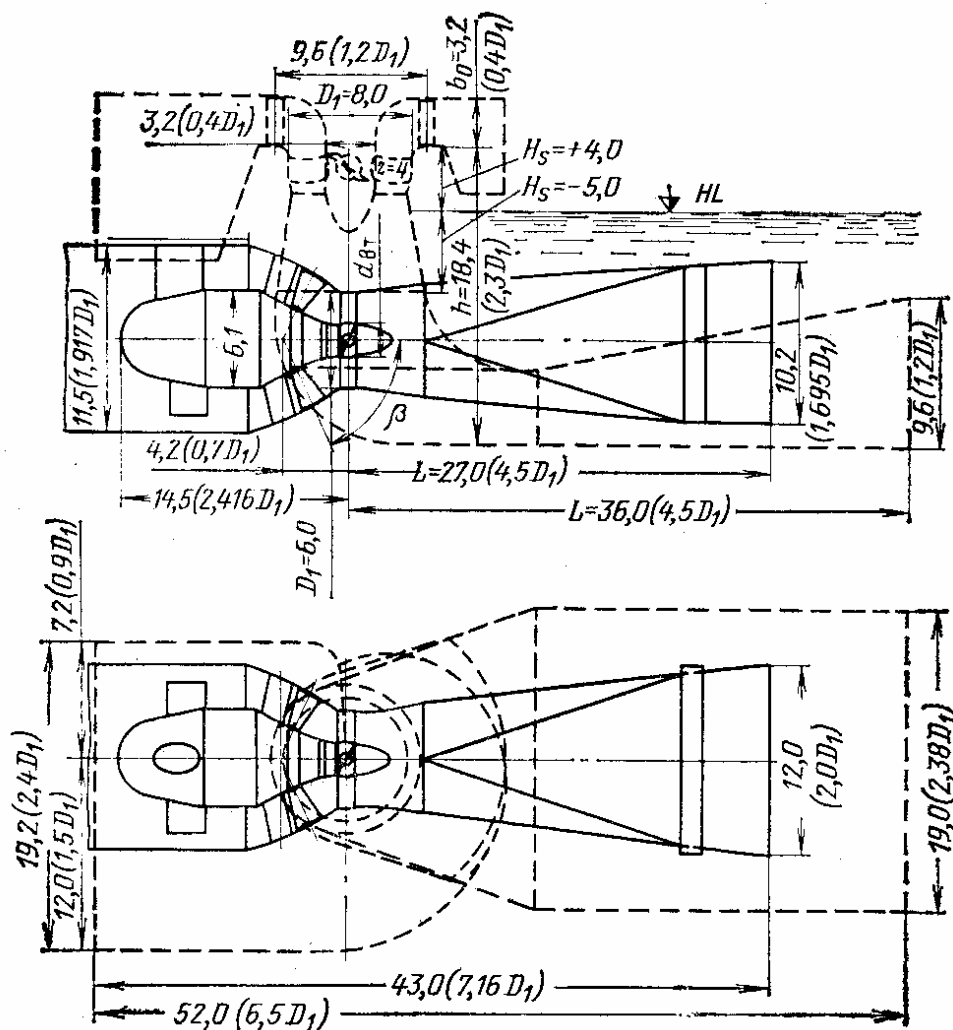


**Hình 2-5.** Nhà máy thủy điện kết hợp xả lũ với turbin kiểu cấpxun

Ngoài những ưu điểm trên tổ máy trục ngang turbin cấpxul còn có những ưu điểm khác so với tổ máy trục đứng khi đường kính  $D_1$  và lưu lượng dẫn xuất  $Q'_1$  như nhau thì hiệu suất turbin chảy thẳng tăng từ 2-4% so với turbin trục đứng, Quan hệ  $\eta = f(N)$

có xu hướng thoải thoải hơn trong tất cả giá trị lưu lượng, hơn nữa dùng ống hút thẳng nên tổ máy có thể làm việc được trong các chế độ không tối ưu của turbin và cho phép làm việc trong phạm vi phụ tải thay đổi lớn, trong khi đó tổ máy trực đứng dùng ống hút cong qua thí nghiệm với phụ tải thay đổi lớn thì hiệu suất giảm nhanh.

Nhược điểm của tổ máy trực ngang turbin chảy thẳng là khi sửa chữa máy phát phải tháo toàn bộ phần qua nước của tổ máy.



Hình 2-6. So sánh kích thước của các phương án lắp máy trực ngang và trực đứng

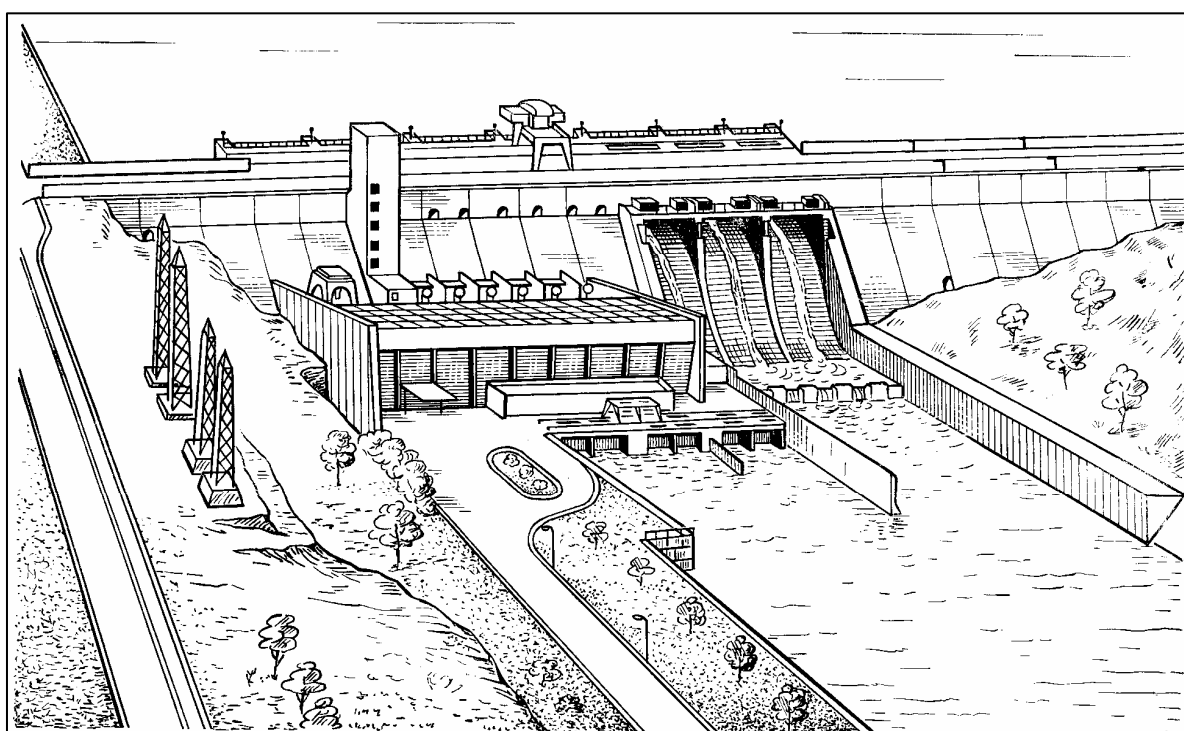
## 2.2. NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN SAU ĐẬP VÀ ĐƯỜNG DẪN

### 2.2.1. Đặc điểm của nhà máy thủy điện sau đập và đường dẫn

Nhà máy thủy điện sau đập và nhà máy thủy điện đường dẫn có một số đặc điểm giống nhau. Cả hai loại nhà máy cùng dùng đường ống dẫn nước vào turbin. ống áp

lực đặt trong thân đập bê tông hoặc đập bằng vật liệu địa phương, nếu là nhà máy thủy điện đường dẫn thì ống áp lực đặt lộ thiên. Cả hai loại nhà máy này không trực tiếp chịu áp lực nước phía thượng lưu, do đó kết cấu phần dưới nước và biện pháp chống thấm đỡ phức tạp hơn nhà máy ngang đập. Nhà máy thủy điện sau đập thường dùng với cột nước từ  $30-45\text{m} \leq H \leq 250 \div 300\text{m}$ .

Tùy thuộc vào cột nước công tác, nhà máy thủy điện sau đập thường dùng turbin tâm trục, tuốc bin cánh quay cột nước cao hoặc tuốc bin cánh chéo. ở nhà máy thủy điện sau đập phần điện thường bố trí phía thượng lưu giữa đập và nhà máy, còn hệ thống dầu, nước thì bố trí phía hạ lưu. Hình 2-7 và 2-8 thể hiện hình phối cảnh và cắt ngang nhà máy thủy điện sau đập bê tông trọng lực không kết hợp xả lũ.

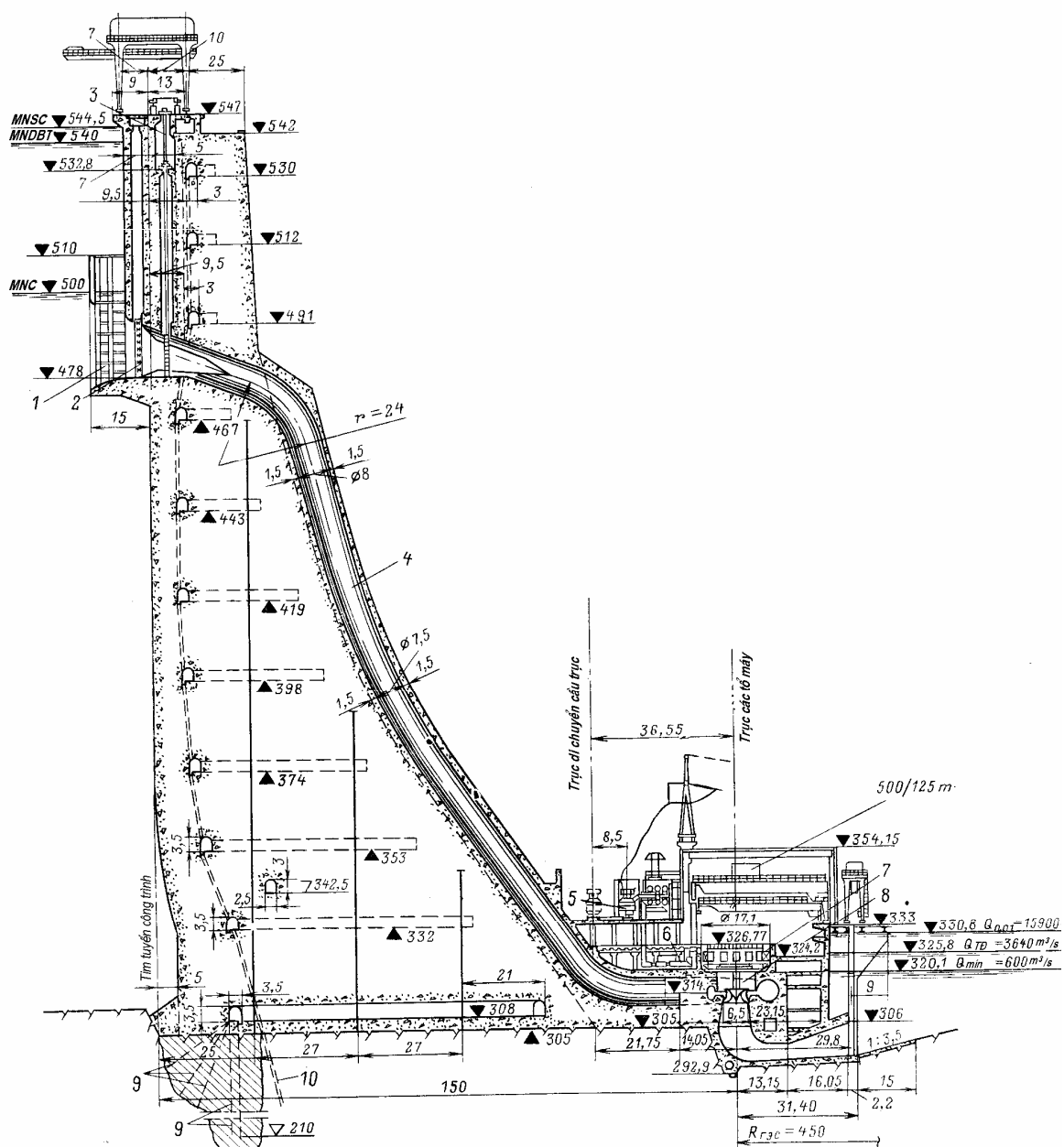


**Hình 2-7.** Nhà máy thủy điện sau đập bê tông trọng lực

Để giảm ứng suất, trong thiết kế người ta bố trí khe lún giữa nhà máy và đập bê tông, nhưng cột nước không lớn thì nhà máy xây liền với đập.

Nhà máy thủy điện đường dẫn ống áp lực đặt lộ thiên có thể sử dụng cột nước đến 2000m. Với cột nước từ 500-600m trở lên thường dùng turbin gáo tổ máy trục đứng hoặc trục ngang.





**Hình 2-8.** Nhà máy TĐ sau đập bê tông trọng lực

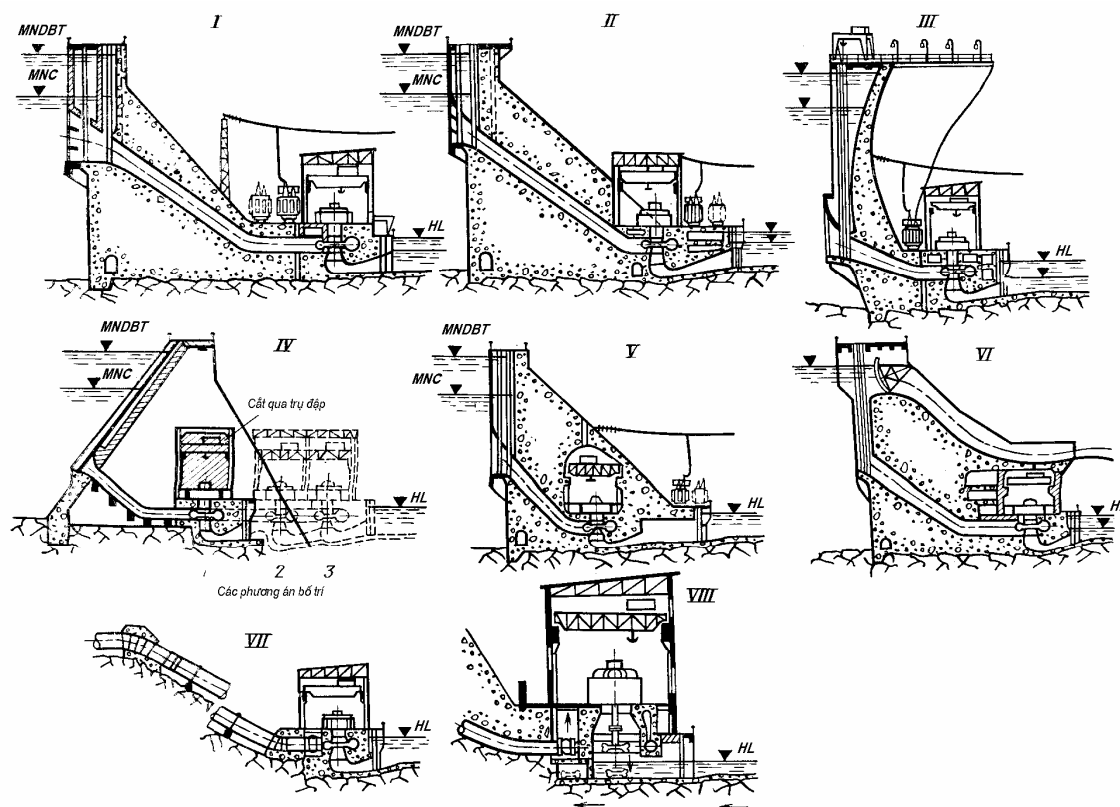
1-lưới chắn rác, 2- Van sửa chữa, 3- Thiết bị đóng mở van công tác, 4- Đường ống tuốc bin, 5- Máy biến thế, 6- Thanh dẫn máy phát.

### 2.2.2. Các sơ đồ bố trí nhà máy thủy điện sau đập và đường dẫn

Những nhà máy thủy điện sau đập và đường dẫn đã được xây dựng hoặc trong giai đoạn thiết kế thường dùng các sơ đồ sau đây để bố trí (Hình 2-9).

Sơ đồ I nhà máy thủy điện bố trí trong đập bê tông trọng lực, để dẫn nước vào tuốc bin được thuận dòng, đoạn ống áp lực nối với buồng xoắn đặt nằm ngang hoặc nằm nghiêng, khoảng trống giữa đập và nhà máy bố trí máy biến thế. Toàn bộ phần điện của nhà máy bố trí phía thượng lưu nhà máy, phía hạ lưu bố trí các hệ thống dẫn, nước khí. Khi công trình xây dựng trên nền đá cứng, cho phép tăng ứng suất dưới đập, thì nhà máy bố trí gần tim đập ( sơ đồ II). Với sơ đồ này kích thước ống hút phải kéo dài, lợi dụng khoảng trống các tầng trên ống hút bố trí các phòng phụ của nhà máy, tầng trên cũng bố trí máy biến áp. Với sơ đồ này toàn bộ phần điện của nhà máy bố trí phía hạ lưu, phía thượng lưu bố trí các hệ thống dẫn khí, nước vv...

Sơ đồ III, nhà máy thủy điện bố trí sau đập vòm. Trước đây thường đặt nhà máy cách xa đập vòm và dùng đường ống dẫn nước áp lực đi vòng qua bờ đá. Nhưng ngày nay với kỹ thuật tính toán đập vòm hoàn chỉnh, kết hợp với sự làm việc của nền đá cho phép đặt nhà máy ngay sau đập vòm với đường dẫn nước đi qua thân đập. Để giảm khoảng cách giữa đập và nhà máy, trong một số trường hợp nhà máy phải tạo thành dạng cong trong bình đồ. Mặc dù bố trí như vậy tăng thêm tính phức tạp, song với những tuyến hẹp cho phép tăng chiều dài nhà máy.



**Hình 2-9.** Sơ đồ bố trí nhà máy sau đập và đường dẫn.

Nhà máy thủy điện sau đập trụ chống ( sơ đồ IV) tùy theo kích thước của đập, khoảng cách giữa các trụ và chiều dày của nó mà đề ra các phương án bố trí nhà máy. Với khoảng cách giữa các trụ không lớn thì bố trí một tổ máy cùng với cầu trục và

gian lắp ráp riêng cho từng tổ máy (phương án 1), hoặc với sàn lắp ráp chung cho toàn nhà máy nếu cho phép đục thông các trụ chống (phương án 2). Khi khoảng cách giữa hai trụ nhỏ, người ta đưa hẳn nhà máy ra sau các trụ, khi đó nhà máy có kết cấu như nhà máy sau đập (phương án 3). Hoặc khoảng cách giữa các trụ chống của đập có kích thước lớn thì có thể nghiên cứu bố trí toàn bộ nhà máy trong một khoang.

Khi kích thước đập bê tông đủ lớn cả chiều cao và chiều ngang có thể bố trí nhà máy trong thân đập (sơ đồ V). Nhà máy trong thân đập giảm được khối lượng bê tông trong thân đập và phần bê tông nhà máy, nhưng chỉ có lợi khi không phải mở rộng mặt cắt ngang đập và chiều cao đoạn tổ máy. Bên cạnh đó nhà máy trong thân đập bê tông trọng lực có những nhược điểm nhất định như làm yếu mặt cắt ngang đập, gây ứng suất tập trung ở hạ lưu và ứng suất cục bộ rất phức tạp khó tính toán một cách chính xác.

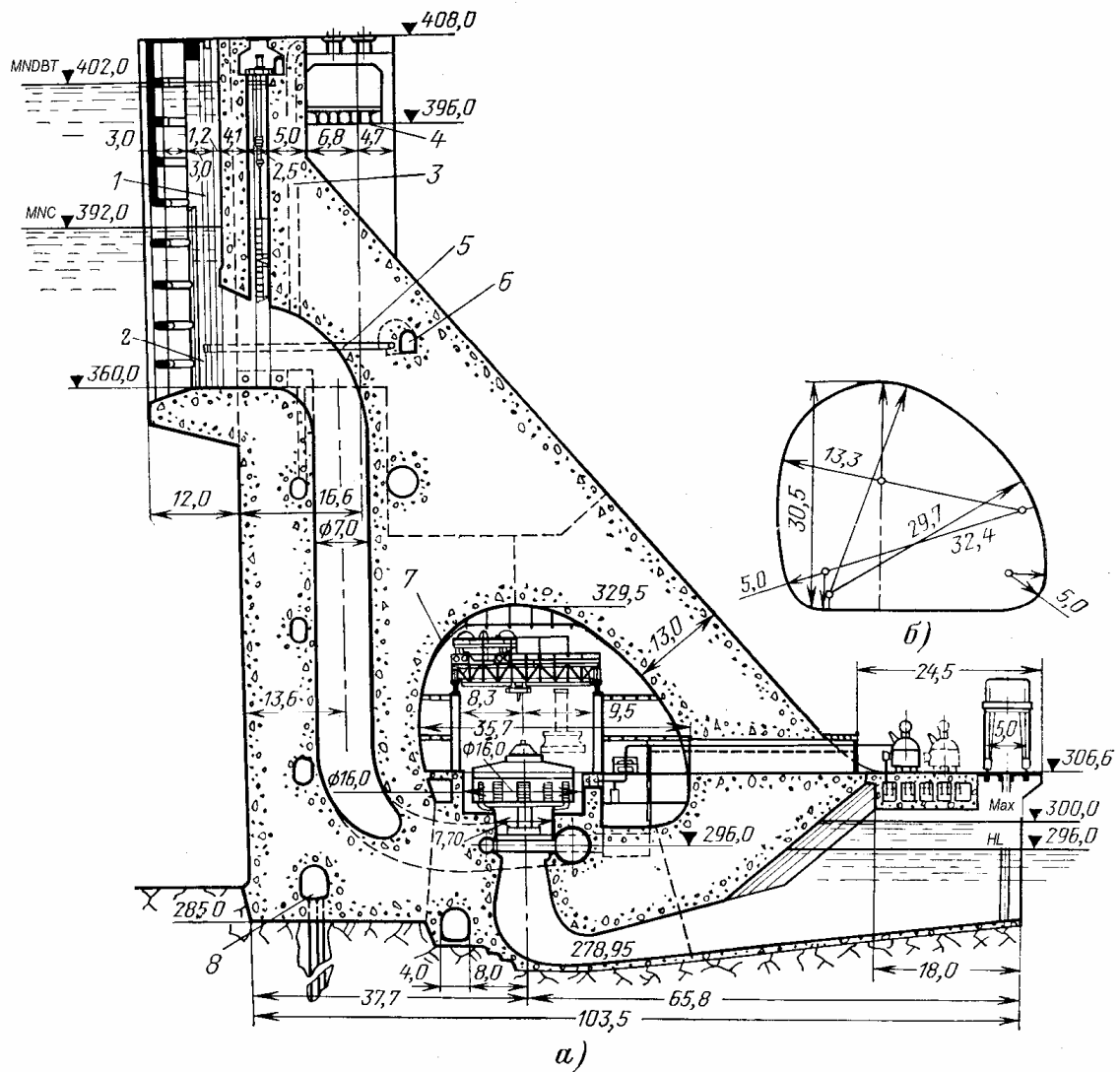
Khi tuyến đập nằm trong địa hình hẹp, công trình xả lũ không bố trí hai bên bờ được, trong trường hợp đó phải nghiên cứu đến phương án bố trí tràn mái (sơ đồ VI). Do dòng phun tạo nên độ ẩm lớn trong không khí, vì vậy phải bố trí các thiết bị điện cao thế trong buồng kín hoặc một địa điểm cách xa nhà máy. Thường về mùa lũ, mực nước hạ lưu dâng cao, có khi vượt qua cao trình sàn máy, trong trường hợp đó tường nhà máy về phía hạ lưu phải xây bằng bê tông cốt thép đủ độ dày và có biện pháp chống thấm.

Sơ đồ VII và VIII là nhà máy thủy điện đường dẫn, đặc điểm của nhà máy này cơ bản giống nhà máy thủy điện sau đập, chỉ khác nhau là phần kích thước dưới nước đơn giản hơn chủ yếu do kích thước bánh xe công tác  $D_1$  nhỏ hoặc trạm thủy điện lắp tuốc bin gáo. ở những trạm thủy điện đường dẫn cột nước cao, lắp tuốc bin tâm trục có thể áp dụng ống hút hình chóp cụt hoặc ống hút loe, như vậy kết cấu phần dưới nước sẽ đơn giản hơn nhiều. Nước sau khi ra khỏi ống hút chảy về hạ lưu bằng kênh dẫn.

Một số nhà máy thủy điện sau đập được xây dựng thường áp dụng các sơ đồ đã giới thiệu trên như: nhà máy thủy điện bố trí trong thân đập bê tông trọng lực (Hình 2-10). Khi kích thước đập bê tông đủ lớn người ta có thể nghiên cứu bố trí nhà máy trong các khoang riêng trong thân đập, yêu cầu kích thước của các khoang đó phải bảo đảm bố trí các thiết bị, đồng thời thỏa mãn cường độ của đập. Đường ống tuốc bin đặt trong thân đập có thể đứng hoặc nghiêng. Với phương án bố trí như vậy ống hút dẫn nước ra từ bánh xe công tác đến sông tương đối dài. Khi ống hút dài làm giảm hiệu suất của tổ máy và điều kiện vận hành không thuận lợi, thì từ đoạn loe của ống hút có thể thay đổi bằng buồng dẫn nước không áp, có mặt cắt lớn (Hình 2-10). Tầng trên buồng dẫn nước bố trí cầu trục chân dê để thao tác van, và bố trí máy biến thế của trạm.

Ưu điểm của phương thức bố trí nhà trong thân đập bê tông trọng lực, giảm chiều dài ống áp lực đồng thời giảm tổn thất thủy lực, điều kiện vận hành tốt, nhà máy làm việc trong điều kiện nhiệt độ và độ ẩm không đổi. Khi thiết kế và xây dựng những trạm thủy điện sau đập cột nước cao ở những tuyến sông hẹp, mái dốc đứng, chiều dài nhà máy không thể tăng được do địa hình hạn chế, người ta nghiên cứu bố trí tổ máy

kép theo hướng dòng chảy. Với phương thức bố trí như vậy hình thành hai gian máy, cao trình lắp máy giống nhau song ống hút bố trí thành hai bậc có độ cao khác nhau ( Hình 2-11 a ). Đường ống áp lực dẫn nước vào tuốc bin thể hiện trên bình đồ ( Hình 2-11 b). Hai gian máy cùng cao trình nên dùng chung một cầu trục để tiến hành lắp ráp, có đường ray riêng, cầu trục có thể chuyển từ gian máy này tới gian máy khác.



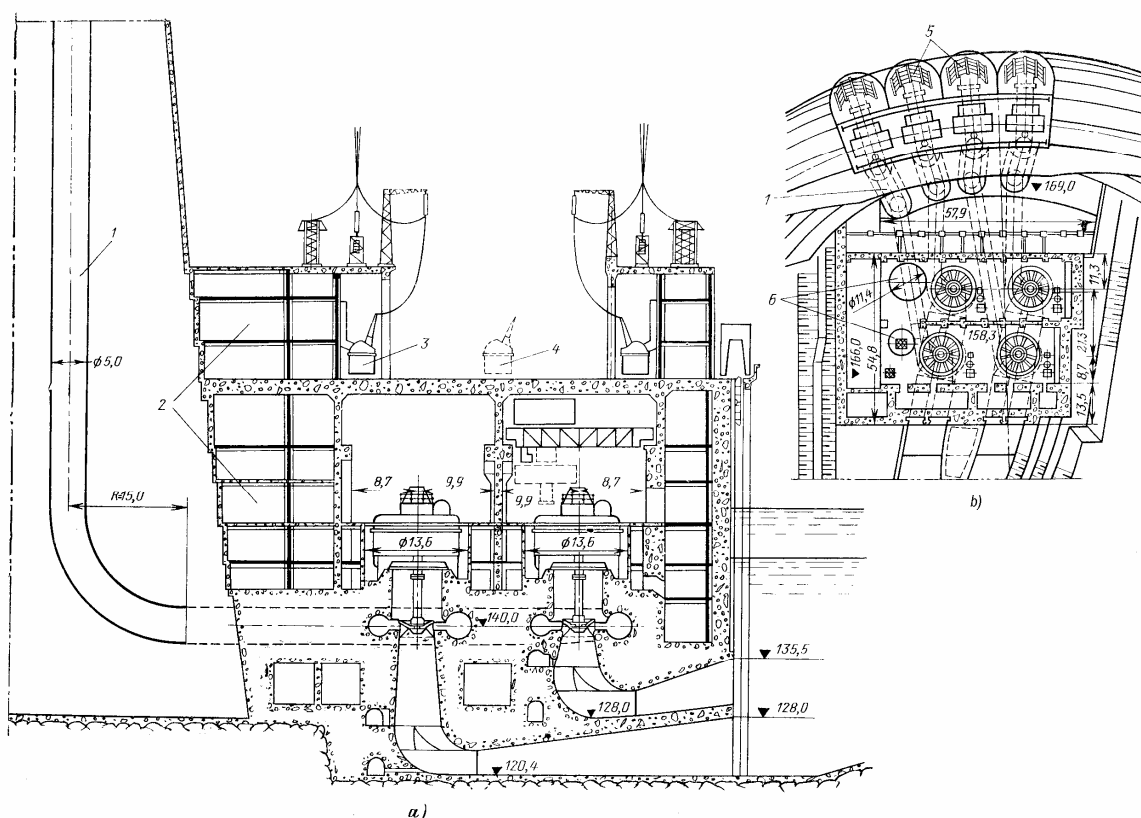
**Hình 2-10.** Nhà máy TĐ trong thân đập trọng lực.

a) Nhà máy trong thân đập, b) Hình dạng vòm nhà máy

1- Rãnh van sửa chữa, 2- Rãnh van sửa chữa ống dẫn nước vào cửa van, 3- ống thông hơi, 4- Đường ô tô, 5- ống dẫn nước, 6- Hành lang kiểm tra, 7- Tường bê tông cốt thép, 8- Hành lang phụt vữa.

Hình 2-12 mặt cắt ngang nhà máy thủy điện sau đập có công suất tổ máy lớn  $N_{tm}=60MW$ , cột nước  $H_{tt}=50m$ , lắp tuốc bin tâm trục, máy phát kiểu treo đặt chìm.

Kích thước ống hút tương đối dài, người ta bố trí các phòng đặt thiết bị phụ và phòng phục vụ, tầng trên cùng đặt máy biến thế và cầu trục công đóng mở van. Toàn bộ thiết bị điện của nhà máy đều bố trí về phía hạ lưu. Phía thượng lưu cuối đường ống áp lực dẫn nước vào tuốc bin lắp van đĩa đặt trong gian máy, khi lắp ráp đều dùng cầu trục chung của nhà máy. Thùng dầu áp lực, máy điều tốc và các hệ thống dầu, khí, nước bố trí phía thượng lưu nhà máy.



**Hình 2-11.** Nhà máy TĐ sau đập bố trí khối đôi

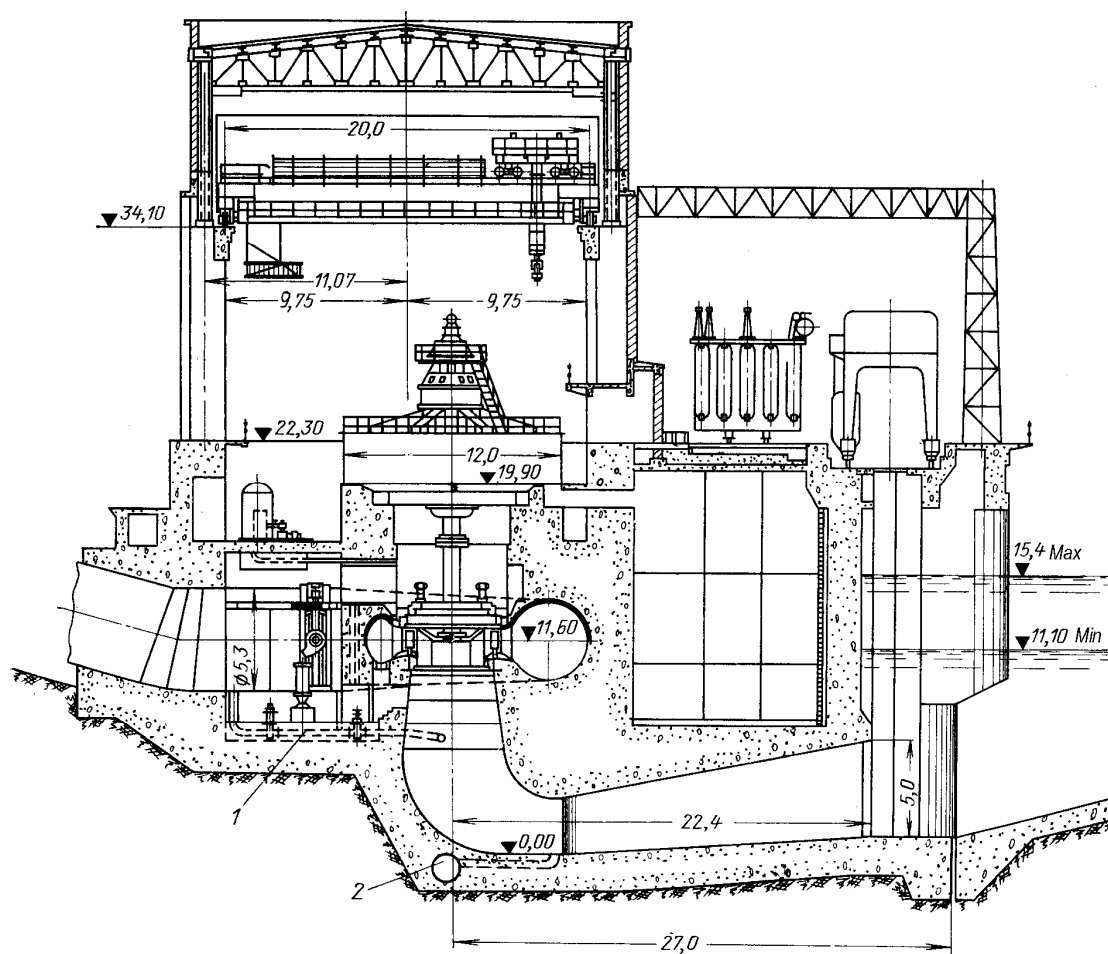
a) Mặt cắt ngang nhà máy, b- bình đồ khu nhà máy

1- Đường ống tuốc bin, 2- Các phòng thiết bị phụ, 3- Máy biến thế, 4- Vị trí đặt máy thế khi kiểm tra, 5- Cửa lấy nước, 6- Gian sửa chữa (lắp ráp).

Kích thước đoạn tổ máy của nhà máy thủy điện sau đập lắp tuốc bin tâm trục trực đứng thường xác định trên cơ sở kích thước buồng xoắn và ống hút. Với buồng xoắn kim loại mặt cắt hình tròn có góc bao  $\varphi = 345^\circ$  thì chiều dài đoạn tổ máy thường từ  $3.2 \div 4.2D_1$ . Để giảm chiều dài đoạn tổ máy, có thể áp dụng buồng tuốc bin có mặt cắt hình ô van, song loại buồng xoắn này rất phức tạp về mặt gia công.

Khi độ cao hút  $H_s$  có trị số dương hoặc bằng không của loại tuốc bin tâm trục thì cao trình bản đáy nhà máy đặt không sâu lắm, chiều dài đoạn loe của ống hút thường từ  $3.5 \div 4.5D_1$ , vì vậy có thể bố trí các phòng đặt thiết bị phụ trên tầng ống hút, bố trí

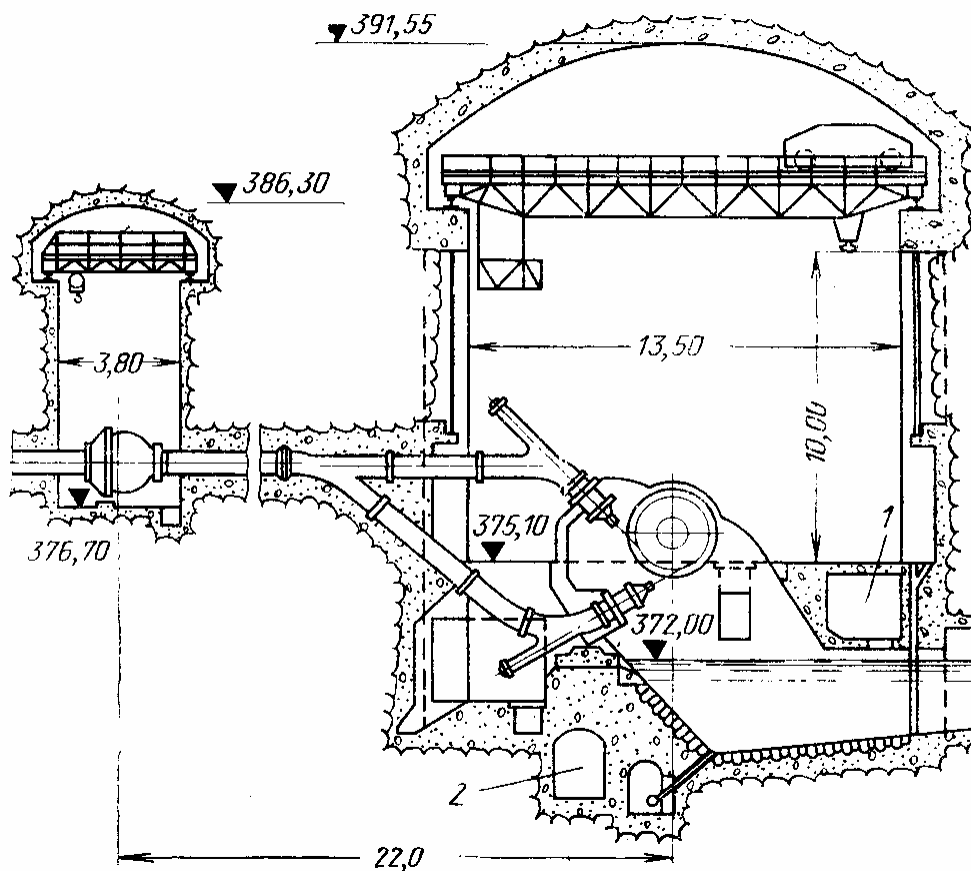
máy biến thế tầng trên cùng. Trong một số trường hợp đặc biệt thì chiều dài ống hút có thể từ  $(8 \div 10)D_1$  hoặc lớn hơn (Hình 2-11).



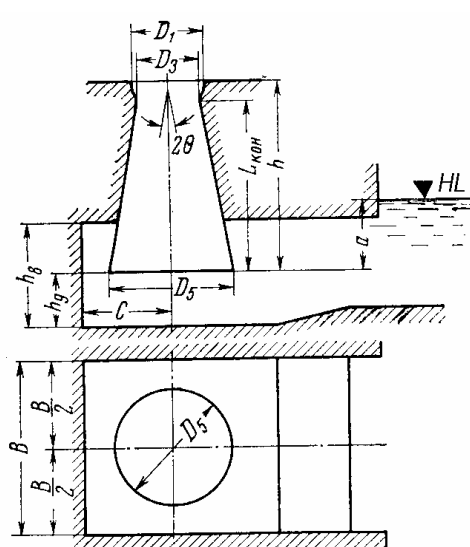
**Hình 2-12.** Nhà máy TĐ sau đập đường ống áp lực đặt hở  
1- ống tháo nước buồng xoắn, 2- ống tháo nước ống hút.

Nhà máy thủy điện đường dẫn lắp tuốc bin gáo thì kết cấu phần dưới nước của nhà máy đơn giản vì không có buồng xoắn và ống hút (Hình 2-13). Đoạn cuối đường ống áp lực dẫn nước vào tuốc bin lắp vòi phun có tiết diện thu hẹp, toàn bộ động năng của dòng chảy biến thành lực xung kích tác động lên cánh gáo tuốc bin. Trong vòi phun lắp van kim điều chỉnh lưu lượng, nước sau khi ra khỏi tuốc bin chảy về hạ lưu bằng kênh xả.

Tùy thuộc vào công suất và số vòi phun của tuốc bin gáo, tổ máy có thể trực đứng hoặc trực ngang, khi có số vòi phun lớn hơn hai thì tổ máy thường trực đứng. Đối với tổ máy trực ngang, nếu bố trí trục tổ máy song song với trục nhà máy thì có thể giảm được chiều rộng gian máy và khẩu độ cầu trục (Hình 2-13). Nếu tăng công suất tổ máy trực ngang thì bằng cách cứ một máy phát lắp hai tuốc bin ở hai bên, bố trí như vậy chiều dài gian máy sẽ tăng lên.



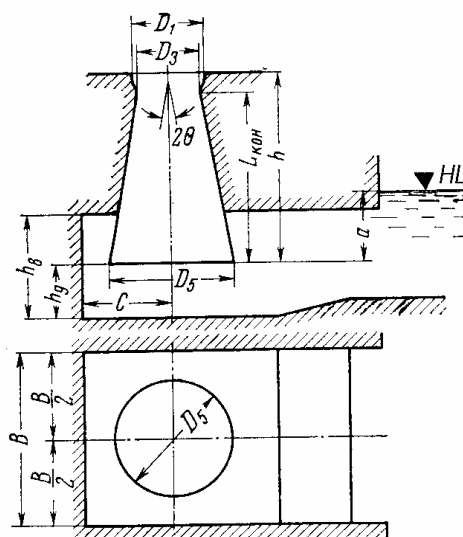
Hình 2-13. Nhà máy TĐ đường dẫn lắp đặt turbin gáo.



Hình 2-14. Sơ đồ ống hình chóp cụt

Khi trạm thủy điện sau đập và đường ống dẫn dùng loại turbin lắp ống hút chóp cụt (h. 2-14) thì kết cấu phần dưới nước của nhà máy

xác định trên cơ sở kích thước buồng xả nước. Các công thức đó được xác định theo công thức kinh nghiệm sau.



Chiều rộng B của buồng xả.

$$B \geq D_5 + (2 \div 2.4)D_2$$

Khoảng cách từ tớm ống hýt đến tường buồng xả

$$C \geq D_5/2 + (1.7 \div 2.0)D_2.$$

Khoảng cách từ tớm ống hýt đến tường buồng xả

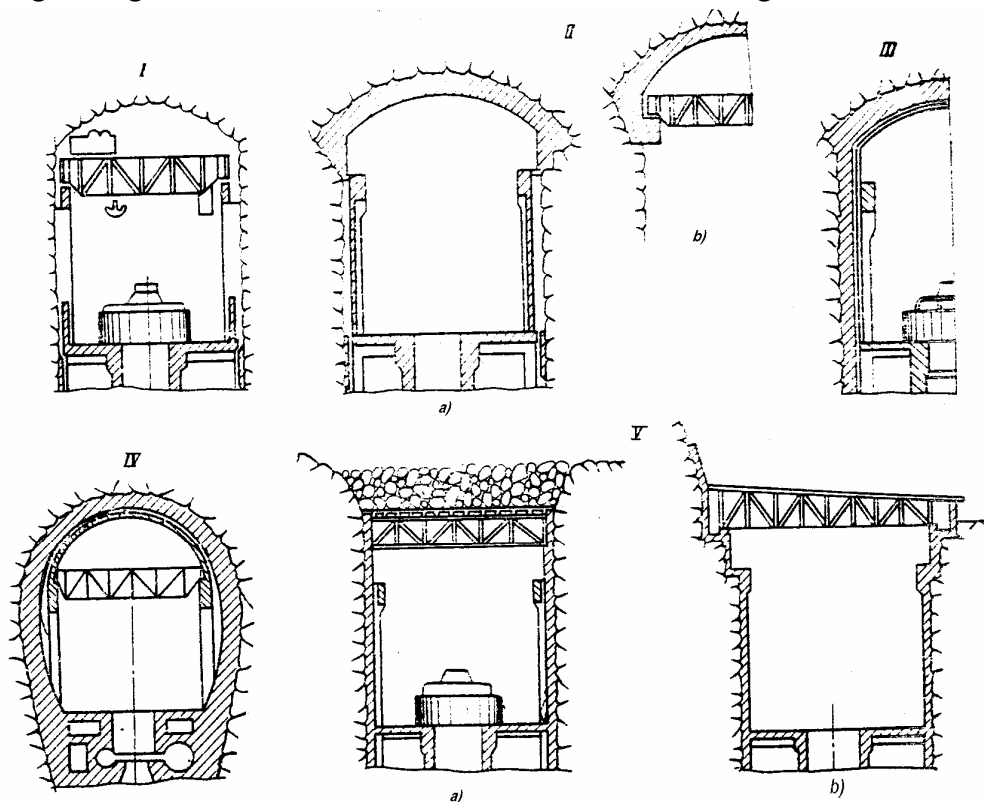
$$h_9 \geq (1.1 \div 1.5)D_2.$$

Trong đó:  $D_5$ - Đường kính mặt cắt ra ống hút,  $D_2$ - Đường kính mép ra của bánh xe công tác tước bin tâm trục, hoặc đường kính cửa ra buồng bánh xe công tác tước bin hướng trục.

## 2.3. NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN NGẦM VÀ NỬA NGẦM

### 2.3.1. Đặc điểm và phương thức bố trí nhà máy thủy điện ngầm

Kết cấu nhà máy thủy điện ngầm phụ thuộc rất ít vào phương thức tập trung cột nước mà chủ yếu phụ thuộc vào điều kiện địa hình và cấu trúc địa chất. Nó có thể xây dựng trong những điều kiện địa chất khác nhau, từ đá có cường độ cao cho đến yếu.



**Hình 2-15.** Các loại kết cấu gian máy TTD ngầm và nửa ngầm

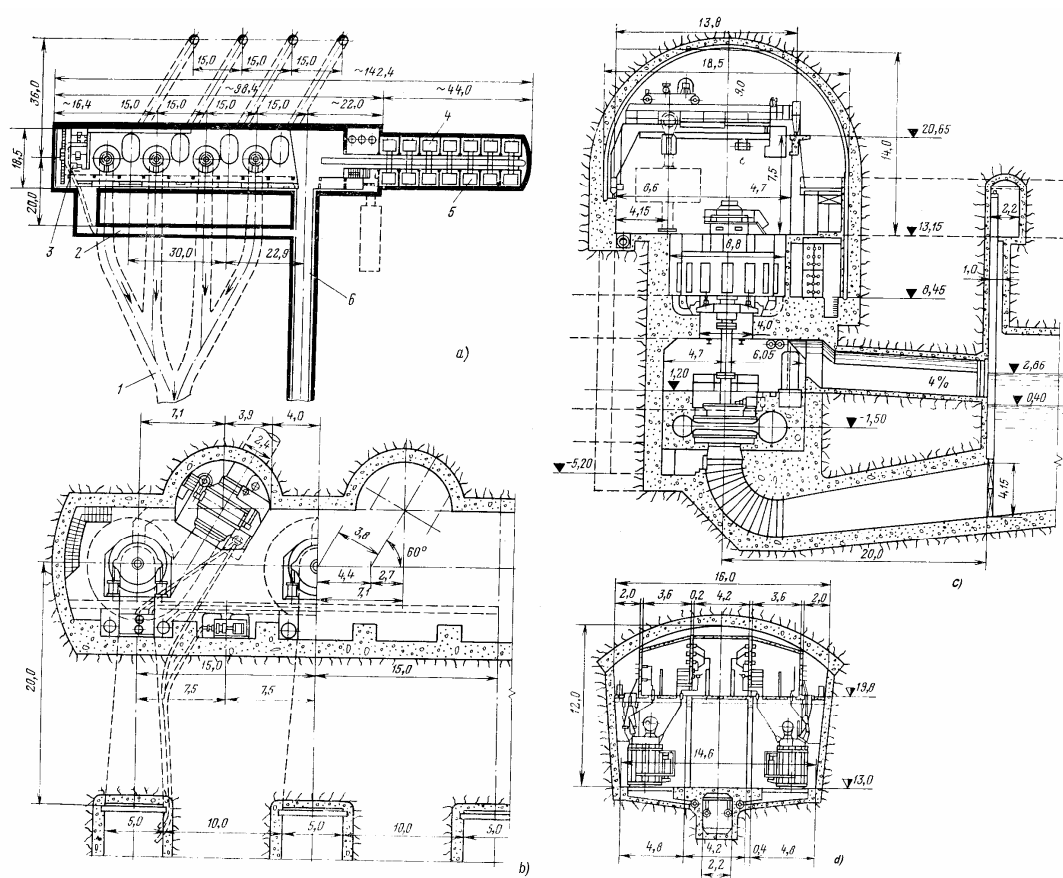
Sự khác nhau giữa nhà máy thủy điện ngầm và nhà máy thủy điện xây trên mặt đất là toàn bộ nhà máy nằm sâu trong đất, sự liên hệ giữa nhà máy và mặt đất bằng các giếng đứng hoặc đường hầm ngang. ở những nơi địa hình phức tạp, địa chất tầng trên xấu, nếu địa chất dưới sâu tốt cho phép xây nhà máy thủy điện ngầm thì khối lượng



đào đắp sẽ giảm, tuyến đường ống áp lực dẫn nước vào turbin sẽ ngắn, áp lực nước và giảm có lợi cho việc điều chỉnh tổ máy.

Tuỳ thuộc vào cường độ của đá, kết cấu tường và trần của nhà máy trạm thủy điện ngầm cũng khác nhau. Hình 2-15. thể hiện các loại kết cấu nhà máy thủy điện ngầm và nửa ngầm.

Với cường độ khối đá rất cứng, không có áp lực hông và áp đứng rất nhỏ, nếu đá cứng thuộc cấp 8-10 thì không cần phải xây vòm bê tông chịu lực và chỉ cần trát tường (sơ đồ I). Khi cường độ đá thấp hơn và có áp lực đứng thì phải xây vòm chịu lực. Trong trường hợp này có thể có hai cách: áp lực đất đá và tải trọng cầu trục thông qua chân vòm chuyển xuống khối đá (Sơ đồ IIb), hoặc chỉ có tải trọng cầu trục thông qua hệ thống dầm và trụ cột chuyển xuống khối đá ( sơ đồ II).



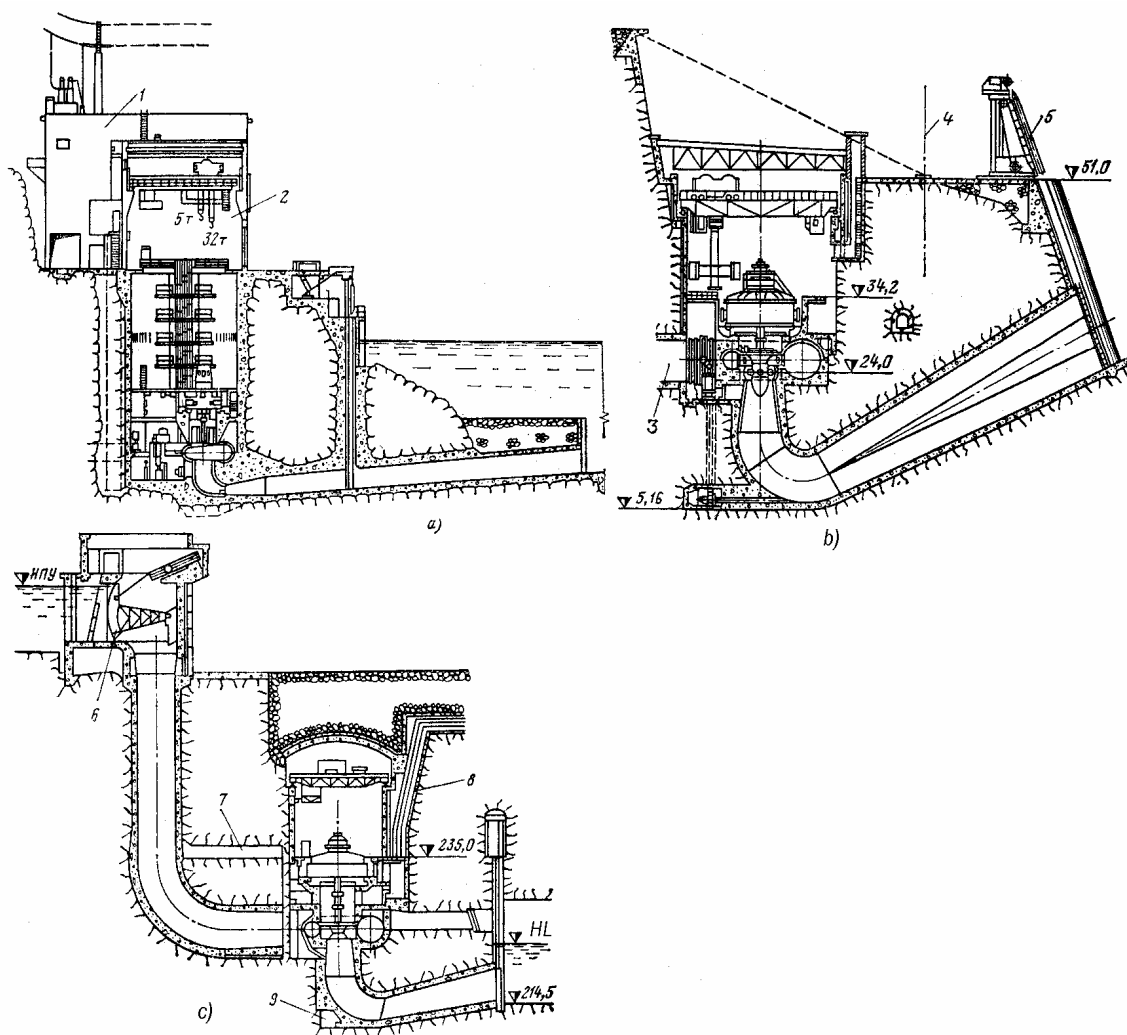
**Hình 2-16.** Nhà máy TĐ ngầm Split ( Nam tư )  $N_{lm}=452,2 \text{ MW}$ ,  $H=269,0 \text{ m}$

a) - Mặt bằng gian máy ở cao trình 13.15m, b)- Mặt bằng tầng tước bin ở cao trình 1.20m, c)- Mặt cắt ngang nhà máy, d)- Mặt cắt ngang gian máy biến thế. 1- Đường hầm dẫn nước, 2- Phòng đặt van trước tước bin, 3- Phòng điều khiển trung tâm, 4- Máy biến thế 16/220KV, 5- Máy biến thế 16/110KV, 6- Đường hầm vào gian máy.

Trong trường hợp đá có cường độ yếu, có áp lực đứng và ngang, sự nứt nẻ nhiều và phong hoá mạnh thì phải xây tường và vòm chịu lực ( sơ đồ III). Đất đá có cường

độ quá yếu thì áp dụng kết cấu hình móng ngựa, kết cấu này bảo đảm được áp lực đứng và ngang rất tốt ( sơ đồ IV).

Khi nhà máy đặt ở cao trình không sâu lắm thường áp dụng kết cấu kiểu sơ đồ V, trần nhà máy có thể một phần nổi lên mặt đất, hoặc sau khi xây xong lấp đất lại. Loại nhà này thường gọi kiểu nửa ngầm.



**Hình 2-17.** Các dạng nhà máy TĐ nửa ngầm.

*a,b,c- Các dạng nhà máy thủy điện ngầm : 1- Nhà bố trí các thiết bị phân phối, 2- Gian máy, 3- Đường ống tước bin, 4- Tâm trục đường nhánh, 5- Cầu trục đóng mở van ống hút, 6 - Van hình cung, 7- Lỗ vào đường ống tước bin, 8- Hàm dẫn cáp máy phát, 9- Hành lang.*

Sự phối hợp giữa các công trình ngầm được xác định bởi vị trí bố trí các thiết bị chính và thiết bị phụ. Trong thiết kế và xây dựng nhà máy thủy điện ngầm, người ta nghiên cứu, lựa chọn phương án bố trí các thiết bị chính và phụ một cách hợp lý phù hợp với điều kiện thực tế của công trình. ở nhà máy thủy điện ngầm việc bố trí máy biến thế là một vấn đề lớn ảnh hưởng nhiều đến kết cấu và việc bố trí các thiết bị chính

bên trong nhà máy. Người ta chỉ bố trí máy biến thế trên mặt đất khi nhà máy nằm không sâu lắm, còn nói chung là đặt dưới mặt đất, ở bên cạnh nhà máy trong hành lang riêng hoặc ngay trong nhà máy. Hình 2-16. thể hiện cách bố trí thiết bị chính và phụ trong gian máy của nhà máy thủy điện ngầm.

ở nhà máy thủy điện ngầm hoặc nửa ngầm, đường dẫn nước vào tuốc bin thường có dạng giếng đứng để giảm chiều dài đường dẫn hoặc hơi nghiêng. Cửa van cuối đường ống trước tuốc bin có thể đặt ngay trong gian máy lợi dụng cầu trục ngay trong gian máy để lắp ráp, cũng có khi cửa van trước tuốc bin đặt trong hành lang riêng có cầu trục thao tác. Sàn lắp ráp của nhà máy thủy điện ngầm thường đặt ở đầu nhà máy hoặc có thể đặt giữa nhà máy nếu nhà máy có số tổ máy nhiều và đường vận chuyển vào bằng giếng đứng. Để giảm khối lượng đào đá ở đoạn ống hút người ta thường ít dùng ống hút cong đáy nằm ngang mà dùng ống hút cong có đáy dốc ngược lên, có tiết diện tròn hoặc ô van với chiều cao lớn  $h=(4\div5)D_1$  và chiều rộng thường bằng  $1.6D_1$ , khi đó khối lượng thi công sẽ giảm, song hiệu suất ống hút không giảm đi bao nhiêu.

Đường vận chuyển thiết bị vào nhà máy có thể làm theo dạng giếng đứng đi thẳng xuống gian lắp ráp hoặc đường hầm nằm ngang cho ô tô hoặc toa xe vào nhà máy. Thường người ta tận dụng các đường hầm thi công để bố trí các đường hầm vận chuyển, hành lang thông gió vv...

Nhà máy thủy điện nửa ngầm là kiểu nhà máy chuyển từ nhà máy trên mặt đất xuống nhà máy ngầm ở cao trình không sâu lắm. Hình 2-17. thể hiện một số dạng nhà máy thủy điện nửa ngầm. Trần nhà máy có thể một phần nổi lên mặt đất, hoặc sau khi xây xong lấp đất lại.

### **2.3.2. Những ưu, nhược điểm của nhà máy thủy điện ngầm và nửa ngầm**

Khi phân tích các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật và điều kiện vận hành nhà máy thủy điện ngầm người ta nhận thấy rằng nó có một số ưu điểm sau đây:

1- Lợi dụng cường độ cao của vòm đá để chuyển một phần tải trọng kết cấu của nhà máy và thiết bị xuống nền móng và do đó giảm nhẹ kết cấu chịu lực.

2- Công trình xây dựng trong điều kiện địa chất vững chắc, an toàn cao, khả năng an toàn quốc phòng tốt.

3- Có thể thi công, lắp ráp liên tục, không phụ thuộc vào thời tiết khí hậu.

4- Thiết bị vận hành trong điều kiện độ ẩm và nhiệt độ ổn định giảm được ứng suất trong thiết bị.

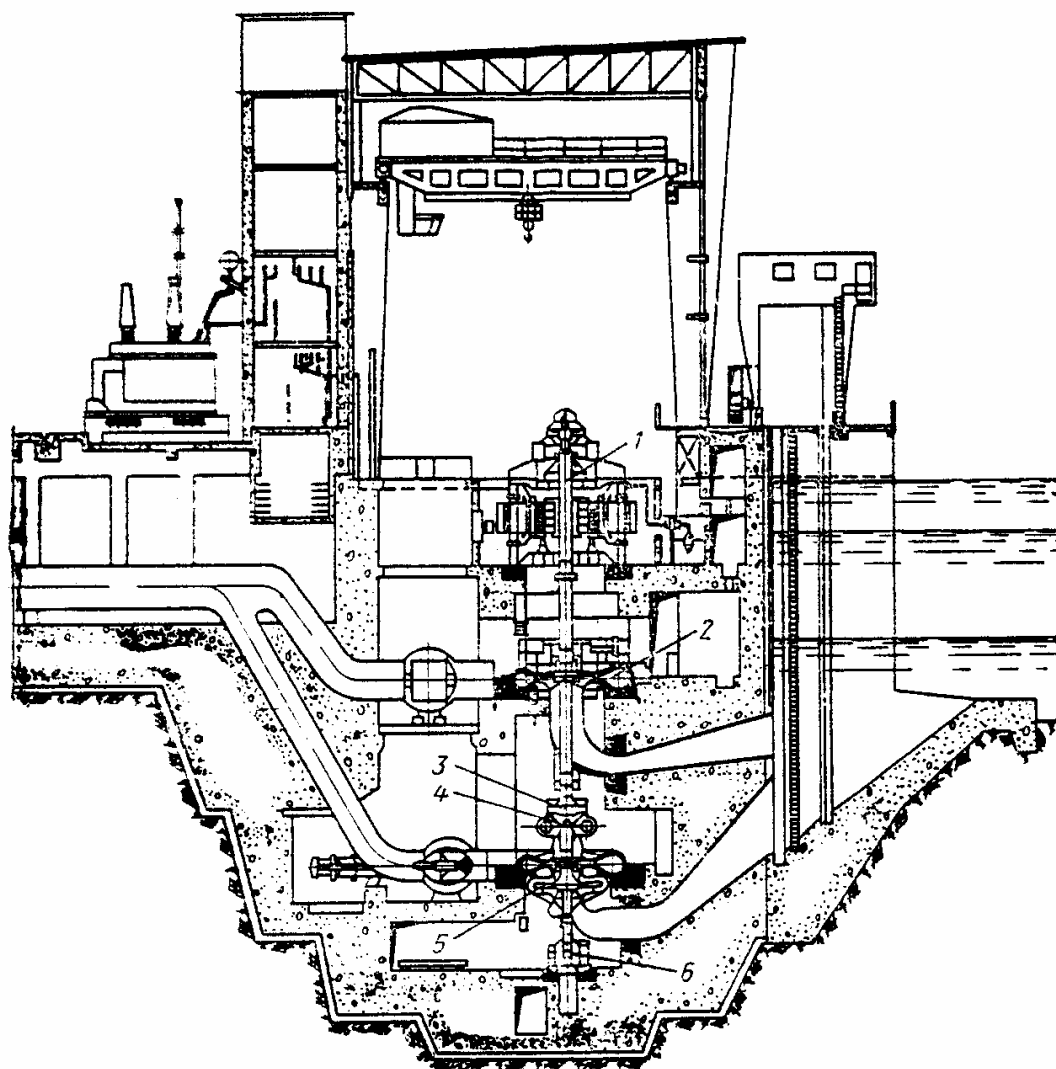
5- Nếu điều kiện địa chất tốt có thể cho phép bố trí nhà máy tại vị trí bất kỳ trên tuyến đường dẫn không phụ thuộc vào điều kiện địa hình.

6- Tuyến đường dẫn nước có áp ngắn vì tuyến đi thẳng, tổn thất cột nước nhỏ, đường ống tuốc bin có dạng giếng đứng hoặc nghiêng, có lợi cho tổ máy làm việc ổn định, áp lực nước và giảm.

Song ở nhà máy thủy điện ngầm có một số nhược điểm: Khối lượng thi công lớn, yêu cầu kỹ thuật cao, điều kiện thông gió, thoát nước, ánh sáng phải bảo đảm mới thoả mãn điều kiện làm việc của công nhân vận hành.

## 2.4. NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN TÍCH NĂNG

Trạm thủy điện tích năng (TTĐTN) là một phương thức lợi dụng năng lượng mới, bao gồm hai quá trình bơm trữ nước và phát điện. TTĐTN có hai hồ chứa, một ở thượng lưu và một ở hạ lưu.

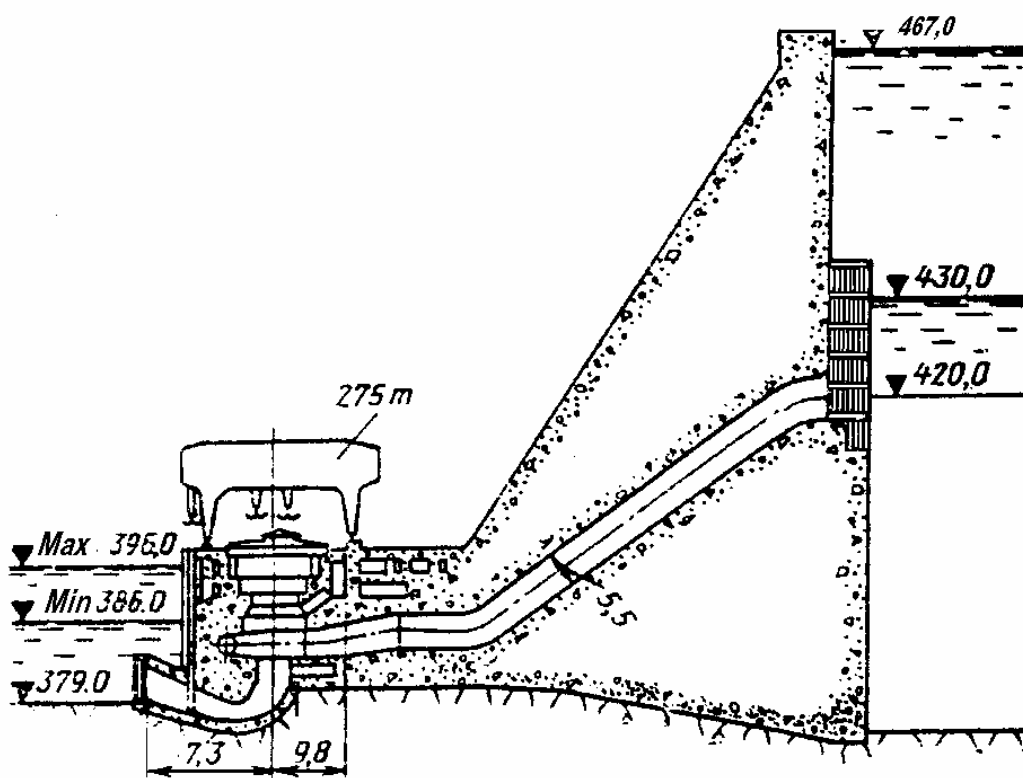


**Hình 2-18.** *Cắt ngang nhà máy TĐ tích năng với sơ đồ 3 máy*

*1- Động cơ- máy phát, 2- Tuốc bin tâm trục, 3- Bích nối trục, 4- Khớp ly hợp, 5- Máy bơm, 6- Gối tựa.*

Trong những giờ yêu cầu phụ tải hệ thống thấp, máy bơm lấy điện từ hệ thống bơm nước từ hồ chứa hạ lưu lên trữ ở hồ chứa thượng lưu để phát điện trở lại vào những giờ cao điểm của phụ tải hệ thống. Loại TTĐTN góp phần giải quyết tốt việc phủ đỉnh biểu đồ phụ tải của hệ thống, cải thiện điều kiện làm việc của trạm nhiệt điện (TNĐ) và mang lại hiệu quả kinh tế cho hệ thống. Thiết bị bố trí trong nhà máy TĐTN phụ thuộc vào sơ đồ bố trí thiết bị trong đó. Tồn tại ba sơ đồ lắp đặt thiết bị: Sơ đồ 4 máy bao gồm turbin, máy phát, máy bơm, động cơ điện bố trí thành các tổ máy độc lập; sơ

đồ 3 máy với turbin, máy bơm, động cơ điện thuận nghịch (động cơ - máy phát) bố trí kết hợp vào một tổ máy; sơ đồ với 2 máy thuận nghịch turbin - bơm, động cơ - máy phát bố trí trong một tổ máy. Các loại tuốc bin này có thể làm việc theo hai chức năng máy bơm và turbin khi thay đổi chiều và máy phát cũng làm việc với các chức năng động cơ điện hoặc máy phát tương ứng. Những tổ máy như vậy thường gọi là tổ máy thuận nghịch. Hiện nay trên thế giới thường sử dụng rộng rãi sơ đồ 2 máy hoặc 3 máy. Với TTĐTN phạm vi sử dụng cột nước tương đối rộng, vì vậy có thể áp dụng được các loại tuốc bin hướng trục, tuốc bin tâm trục, tuốc bin cánh chéo.



*Hình 2-19. Nhà máy TĐ tích năng với sơ đồ 2 máy*

Sơ đồ lắp đặt 4 máy có ưu điểm là mỗi tổ máy (bơm hoặc turbin) được thiết kế theo chế độ làm việc tối ưu của mình, không phụ thuộc vào nhau. Một trong số TTĐTN với sơ đồ như vậy được áp dụng ở TTĐTN Raysek-Kraysek (áo) có cột nước cao 1772m, tại đây sử dụng turbin gáo và máy bơm đa cấp. Do có nhược điểm là vốn đầu tư xây dựng lớn nên sơ đồ này không được áp dụng phổ biến.

Sơ đồ lắp đặt ba máy với turbin, máy bơm và động cơ hai chiều được bố trí trên cùng một trục phổ biến rộng rãi ở các nước Tây Âu nơi mà 60% tính theo công suất của TĐTN được sử dụng theo sơ đồ này. Trên hình 2-18 thể hiện hình cắt ngang nhà máy TĐTN với sơ đồ 3 máy: turbin tâm trục 2, máy bơm 5 và động cơ điện hai chiều 1. Trong sơ đồ ba máy trục đứng thì máy bơm bao giờ cũng bố trí phía dưới turbin vì độ

cao hút  $H_s$  của máy bơm thường nhỏ hơn so với turbin. Trục nối từ turbin tới máy bơm xuyên qua ống hút turbin. Giữa turbin và máy bơm có bố trí khớp ly hợp 4 để tách rời nhau khi tổ máy làm việc ở chế độ phát điện, làm như vậy tránh được việc hút nước ra khỏi máy bơm ở chế độ này và tổn thất “ quạt gió” khi máy bơm quay cùng với turbin.

Sơ đồ ba máy thường được ứng dụng ở các TTĐTN với cột nước cao sử dụng turbin gáo ( $H > 300\text{m}$ ) và máy bơm nhiều cấp. Với sơ đồ này turbin gáo đặt cao hơn mực nước hạ lưu lớn nhất khi tổ máy làm việc với chế độ bơm không phải hút nước ra khỏi buồng xoắn và BXCT turbin tránh được tổn thất năng lượng khi turbin quay trong nước.

Ưu điểm cơ bản của sơ đồ lắp đặt thiết bị này là chế độ làm việc của turbin và máy bơm trong vùng hiệu suất cao của riêng mình, tổ máy chỉ quay theo một chiều khi phát điện cũng như khi bơm như vậy sẽ rất thuận lợi khi khởi động máy bơm cũng như khi chuyển chế độ làm việc từ chế độ này sang chế độ khác. Khi chuyển chế độ làm việc chỉ cần thực hiện các thao tác đóng mở van tương ứng mà thôi.

Hình 2-19 thể hiện mặt cắt ngang nhà máy trạm thủy điện tích năng trong sơ đồ hai máy thuận nghịch với tuốc bin tâm trục đường kính bánh xe công tác  $D_1 = 6.75\text{m}$  với công suất bơm 76.6MW và cột nước bơm 63m, công suất tuốc bin 56.9MW và cột nước phát điện 58m. Trong sơ đồ này sử dụng hai máy thuận nghịch ( turbin- bơm, máy phát- động cơ), khi thay đổi chế độ làm việc từ chế độ bơm sang chế độ phát điện hoặc ngược lại, của tổ máy đổi chiều quay tương ứng.

Cột nước công tác ở chế độ turbin  $H_{ct} = h_{đỉnh} - h_{tt}$ , nhỏ hơn cột nước công tác ở chế độ bơm  $H_{ct} = h_{đỉnh} + h_{tt}$ . Do cột nước công tác khác nhau nên số vòng quay dẫn xuất của tổ máy cũng khác nhau, cho nên không có sự trùng khớp về số vòng quay dẫn xuất khi thay đổi chế độ làm việc từ bơm sang turbin hoặc ngược lại. Nếu thiết kế chọn chế độ tối ưu khi phát điện thì khi ở chế độ bơm sẽ có hiệu suất máy bơm thấp hoặc ngược.

Nếu chọn số vòng quay của tuốc bin theo công thức.

$$n_{TB} = \frac{n'_{ITB} \sqrt{H_o - h_{tt}}}{D_{ITB}}$$

Số vòng quay của máy bơm:

$$n_{MB} = \frac{n'_{IMB} \sqrt{H_o + h_{tt}}}{D_{IMB}}$$

Đối với turbin thuận nghịch  $D_{ITB} = D_{IMB}$  ta có :

$$\frac{n_{MB}}{n_{TB}} = \frac{n'_{IMB} \sqrt{H_o + h_{tt}}}{n'_{ITB} \sqrt{H_o - h_{tt}}}$$

Tỷ số này lớn hơn 1

Để đảm bảo có sự trùng khớp về vùng làm việc tối ưu ở cả hai chế độ đòi hỏi số vòng quay của tổ máy ở hai chế độ phải khác nhau. Thường số vòng quay ở chế độ

bơm lớn hơn số vòng quay của tuốc bin từ  $1.2 \div 1.35$  lần. Đây là một trong số tồn tại của sơ đồ lắp đặt thiết bị loại này nó làm phức tạp kết cấu khi chế tạo động cơ điện hai chiều. Tổ máy như vậy thường gọi tổ máy thuận nghịch.

Mặt khác, chiều quay của hai chế độ ngược nhau sẽ làm phức tạp hoá quá trình chuyển tiếp từ chế độ này sang chế độ khác và do đó làm giảm tính linh hoạt của tổ máy TĐTN.

Bên cạnh những khó khăn, phức tạp về chế độ làm việc, TTĐTN với sơ đồ hai máy có ưu điểm là giảm được một máy thuỷ lực, khớp ly hợp và một số van do đó có thể giảm được khoảng 30% vốn đầu tư cho thiết bị so với sơ đồ ba máy, đồng thời rút ngắn chiều cao nhà máy cũng khoảng  $30 \div 35\%$  và do đó giảm chi phí xây dựng công trình.

Về kết cấu nhà máy với sơ đồ lắp đặt hai máy nhìn chung là không có gì khác so với các nhà máy thuỷ điện thông thường. Điểm khác là do khi làm việc ở chế độ bơm có hệ số khí thực cao, độ sâu HS nhỏ nên turbin phải đặt thấp hơn hạ lưu thường từ  $9 \div 15\%$  cột nước công tác. Vì vậy, nếu không muốn trục tổ máy quá dài thì động cơ điện phải đặt thấp hơn mực nước hạ lưu gây khó khăn trong việc bố trí giao thông vào gian lắp máy trong trường hợp nhà máy bố trí trên mặt đất như các TTĐ thông thường. Đối với phương án nhà máy thuỷ điện tích năng bố trí ngầm thì có thể nói không có gì khác so với nhà máy thuỷ điện loại này.

TTĐTN với sơ đồ lắp đặt hai máy thuận nghịch thường được sử dụng khi cột nước  $H < 100 \div 150\text{m}$ .

Với cột nước từ  $12 \div 15\text{m}$  nhà máy TĐTN sử dụng tổ máy cáp xun trục ngang thuận nghịch là hiệu quả nhất. Hiệu suất tổ máy khi quay ngược lớn nhất trong các chế độ công tác của tổ máy thuận nghịch thường thấp hơn so với tuốc bin và máy bơm cùng làm việc với cột nước trên một ít.

## **2.5. NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN THỦY TRIỀU**

Nhà máy điện thuỷ triều (ĐTT) lợi dụng biên độ giao động năng lượng triều lên xuống để phát điện. Chiều cao biên độ giao động của thuỷ triều ở một số nơi có thể tương đối lớn ( $2 \div 6\text{m}$ ). Trong điều kiện địa hình tự nhiên có vịnh hẹp người ta xây đập ngăn lại thành bể chứa. Nhà máy được xây dựng như một công trình ngăn biển, và trong đó bố trí nhà máy thuỷ điện để phát điện.

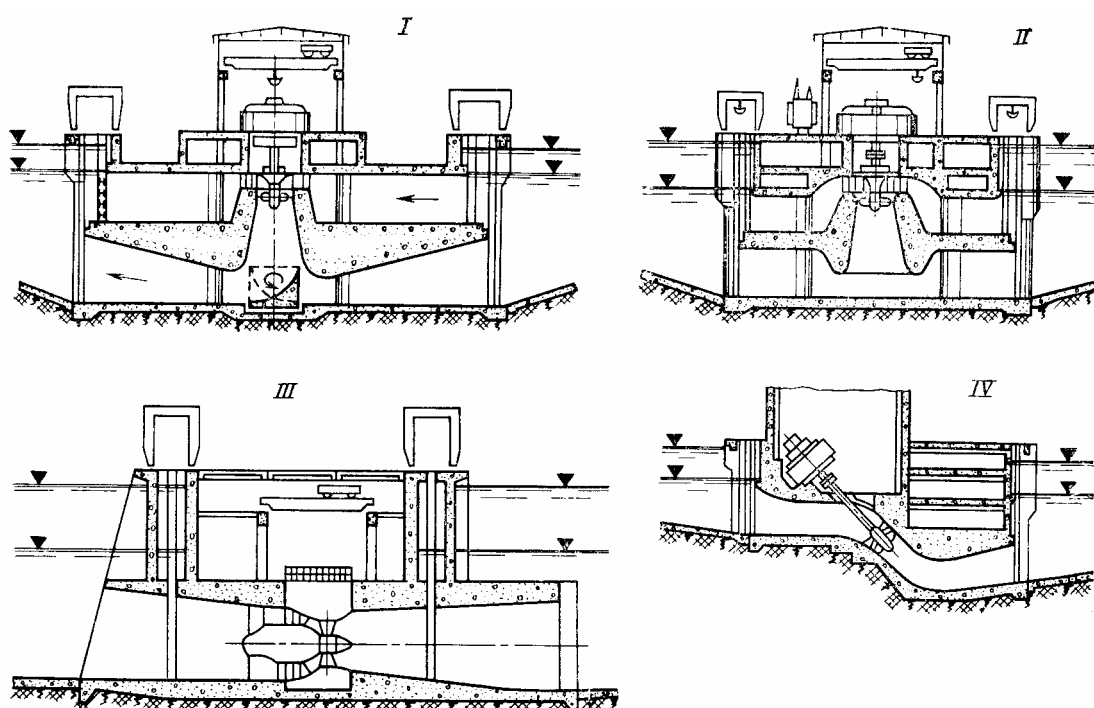
Hiện nay khó khăn nhất là thiết kế kết cấu nhà máy với việc bố trí tổ máy làm việc theo hai hướng của dòng chảy ngược nhau theo chiều lên xuống của thuỷ triều.

Để đơn giản kết cấu nhà máy, người ta có thể bố trí các tổ máy giống nhau đặt theo hai hướng của dòng chảy, làm như vậy có thể số tổ máy phải tăng gấp đôi, nhà máy với số tổ máy nhiều và do đó vốn đầu tư xây dựng quá lớn. Sơ đồ kết cấu này tuy đơn giản về kết cấu song ngày nay ít được ứng dụng.

Ngày nay xu thế sử dụng sơ đồ kết cấu nhà máy với turbin tác dụng hai chiều (làm việc theo hai chiều của dòng chảy).

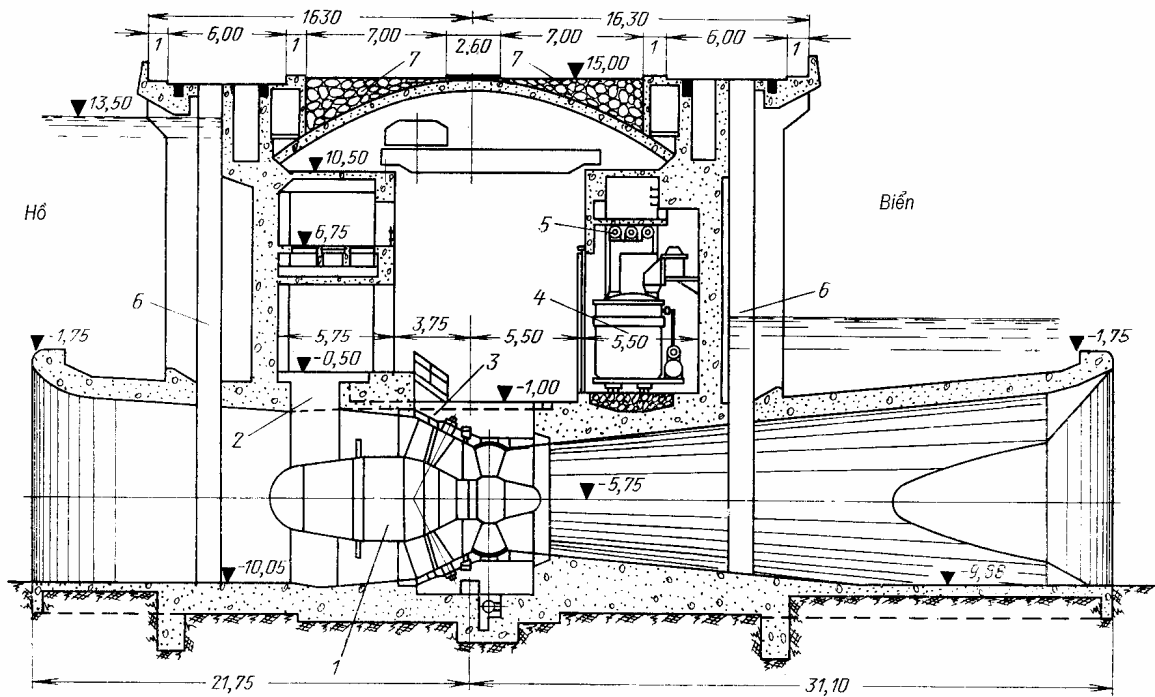
Với kết cấu trên sơ đồ I hình 2-20 buồng dẫn nước tuốc bin có hai cửa lấy nước từ hai phía, đồng thời ống hút có phần mở rộng bố trí cả hai phía, phần khuỷu cong có thể quay được khi tổ máy đổi chiều công tác. Kết cấu này rất phức tạp cả trong xây dựng lẫn trong vận hành nên cũng không được phổ biến rộng.

Kết cấu trên sơ đồ II hình 2-20 sử dụng hình ống loe cho thấy có lợi và đơn giản kết cấu hơn. Cửa lấy nước và cửa ra ống hút bố trí van và lưới chắn rác có cầu trục dạng khung để thao tác.



**Hình 2-20.** Các sơ đồ bố trí nhà máy TĐ thủy triều.





**Hình 2-21.** Nhà máy điện thủy triều Rance ( Pháp)

1- Tổ máy cáp xun, 2- Mô trụ rỗng để dẫn các đường dây cáp điện, 3- Buồng bánh xe công tác, 4- Máy biến thế, 5- Cáp cao thế, 6- Rãnh van, 7- Đường ô tô.

Ngày nay người ta thường dùng tổ máy chảy thẳng làm việc hai chiều ( hình 2-20 sơ đồ III). Kết cấu này giảm được kích thước phần dưới nước, giảm kích thước đoạn tổ máy, đối với TTĐTT nhiều tổ máy thì điều này có ý nghĩa rất lớn về mặt kinh tế. Phần dưới nước gồm buồng dẫn nước mặt cắt hình vuông và ống hút thẳng. Khi tổ máy vận hành ngược lại theo chiều triều xuống thì ống hút sử dụng như ống dẫn nước vào tuốc bin, còn buồng dẫn nước trong đó lắp tổ máy cáp xun thì làm việc như ống hút. Với sơ đồ kết cấu này buồng turbin kéo dài và có độ côn không lớn hơn so với ống hút.

Sử dụng turbin chảy thẳng tác dụng hai chiều với máy phát đặt ngoài dòng chảy trong gian máy hoặc một gian riêng (sơ đồ IV hình 2-20) sẽ là phương án kết cấu thuận lợi. Trong ống hút chỉ bố trí mỗi BXCT turbin.

Hình 2-21. là một ví dụ về nhà máy điện thủy triều Rance ( Pháp) gồm 24 tổ máy cáp xun trực ngang mỗi máy công suất 10 MW, đường kính tuốc bin  $D_1=5,35$  m.

## 2.6. ĐẶC ĐIỂM KẾT CẤU NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN CÔNG SUẤT NHỎ

### 2.6.1. Yêu cầu chung đối với trạm thủy điện nhỏ

Khái niệm về phân loại trạm thủy điện nhỏ ở mỗi nước mỗi khác. Việc phân loại thường dựa theo quy mô đầu tư, công suất lắp máy của TTĐ. ở nước ta tạm thời lấy

mức nhỏ hơn 5.000 kW để phân loại turbin nhỏ. ở các TTĐ nhỏ thường có tổ máy không quá 3.

Yêu cầu cơ bản đối với TTĐ nhỏ là nhà máy và các công trình đầu mối phải đảm bảo chi phí thiết kế, xây dựng và vận hành ở mức tối thiểu.

Muốn vậy, một trong các giải pháp tốt nhất để tăng hiệu quả kinh tế của TTĐ nhỏ trong giai đoạn thiết kế là sử dụng các thiết kế định hình các bộ phận công trình và sử dụng các thiết bị đồng bộ chế tạo sẵn hàng loạt. Các thành phần công trình đầu mối sử dụng độc lập để đơn giản hoá kết cấu các bộ phận. Khi tính toán lựa chọn các giải pháp kết cấu và kích thước các bộ phận công trình có thể đơn giản hoá tính toán. Cố gắng sử dụng các vật liệu rẻ tiền và vật liệu địa phương như gạch, đá, polyme... Giải pháp bố trí tổng thể công trình và giải pháp thi công cố gắng tránh phải xây dựng các công trình tạm như đê bao ngăn dòng và công trình xả lũ thi công qui mô lớn và phức tạp. Việc tiến hành sửa chữa các thiết bị có thể thực hiện bằng cách thay thế từng cụm chi tiết.

### **2.6.2 Phân loại nhà máy thủy điện nhỏ**

Nguyên tắc phân loại nhà máy thủy điện nhỏ là phải chi tiết hoá để tiện lợi cho việc xây dựng các thiết kế định hình trên cơ sở phân tích các sơ đồ tập trung cột nước, bố trí nhà máy trong tổng thể công trình và đặc điểm của loại thiết bị sử dụng.

Về sơ đồ tập trung cột nước chúng chia ra làm hai loại : Nhà máy thủy điện ngang đập ( nhà máy chịu áp lực nước trực tiếp từ thượng lưu) và nhà máy thủy điện sau đập và đường dẫn ( nhà máy không chịu áp lực nước trực tiếp từ thượng lưu).

Về đặc điểm cấu tạo thiết bị động lực :

- Loại turbin: turbin phản kích, turbin xung kích (TB hướng trục, TB tâm trục, ...)
- Buồng dẫn nước turbin: Buồng hở không áp, buồng có áp, buồng xoắn ốc, buồng chính diện ...
- Dạng ống hút : ống hút nón cụt, ống hút cong, ống hút dạng chữ S...

Về hình thức lắp máy : Trục đứng, trục ngang và trục xiên.

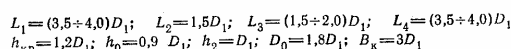
Về kích thước turbin được phân loại theo đường kính BXCT: 0.5 m; 1.0m...

Sau đây sẽ trình bày đặc điểm cấu tạo của một số đặc điểm cấu tạo của nhà máy thủy điện thiết kế định hình.

### **2.6.3. Nhà máy thủy điện nhỏ loại ngang đập.**

*Dạng I:* Nhà máy thủy điện trục đứng, buồng turbin kiểu hở, ống hút hình nón cụt hoặc ống hút cong ( hình 2-22).

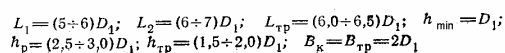
Với đường kính BXCT  $D_1 \leq 1.0$  m, cột nước  $H = 2 \div 6$  m có thể sử dụng buồng turbin hở hình chữ nhật, turbin trục đứng, ống hút hình nón cụt hoặc ống hút cong, máy phát đặt cao hơn mực nước lớn nhất thượng lưu. Các kích thước cơ bản được tính theo đường kính BXCT  $D_1$ . Với đường kính BXCT  $D_1 \leq 0.5$  m dạng này sử dụng ở cột nước  $H = 2 \div 4$  m



Technical drawing of a mechanical part, showing a cross-section A-A and a side view. The cross-section A-A shows a profile with dimensions  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $D_0$ ,  $D_1$ ,  $r_{kk}$ ,  $r_{tp}$ ,  $r_{min}$ ,  $r_p$ ,  $h_d$ , and  $h_k$ . The side view shows dimensions  $B_k$ ,  $B_{tp}$ , and  $h_k$ . The part is labeled "Mặt bảng".

$$\begin{aligned} L_1 &= (5 \div 6) D_1; & L_2 &= (5 \div 6) D_1; & L_K &= (1, 5 \div 1, 8) D_1; \\ & & L_{\bar{n}} &= (2, 5 \div 3, 0) D_1; \\ h_{\min} &= 0,75 D_1; & h_p &= 3 D_1; & h_{\tau, K} &= (1, 8 \div 2, 0) D_1; & h_{\tau p} &= (2, 0 \div 2, 5) D_1; \\ h_n &= (1, 2 \div 1, 4) D_1; & B_K &= B_{\tau p} = (2, 8 \div 3, 0) D_1; & B_{n\tau} &= 1,7 D_1 \end{aligned}$$

Dạng này thường được ứng dụng trong phạm vi cột nước  $H = 2 \div 12$  m , đường kính  $D_1 = 1 \div 3$  m. Với đường kính  $D_1 = 1$  m,  $H = 2 \div 6$  m dạng này có thể cạnh tranh

[illegible]

$$L_1 = (3,5 \div 4,0)D_1; \quad L_2 = 3D_1; \quad L_T = (3,5 \div 4,0)D_1; \quad D_T = 2,5D_1; \\ D_{\text{в.к.}} = 1,4D_1.$$

299

với dạng I do giảm được khối lượng bê tông xây dựng nhà máy và với đường kính  $D_1 = 2$  m,  $H = 4 \div 12$  sử dụng loại này có ưu việt hơn cả.

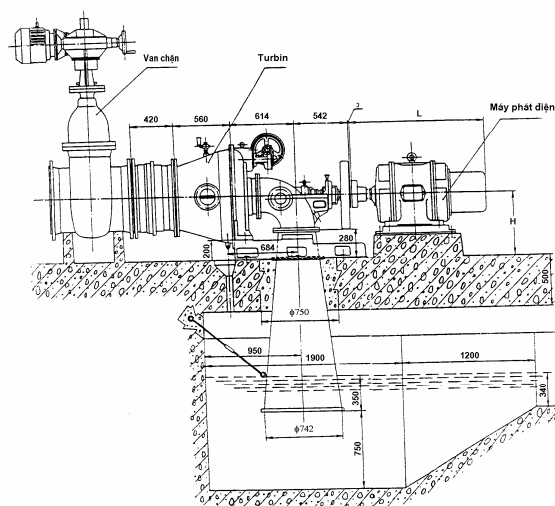
**Dạng III:** Nhà máy thủy điện trực đứng, buồng xoắn bê tông có áp, ống hút cong hoặc ống hút hình nón cụt ( hình 2-24).

Khi đường kính BXCT  $D_1 = 1 \div 3$  m, cột nước  $H = 8 \div 15$  m trong thực tế thường sử dụng nhà máy TĐ dạng III. Dạng này nhà máy có kết cấu tương tự như các loại nhà máy công suất trung bình nhưng đơn giản hơn. Với nhà máy có turbin  $D_1 = 2$  m,  $H = 8 \div 10$  m có thể sử dụng ống hút cong hoặc ống hút hình nón cụt. Khi  $D_1 = 3$  m,  $H = 10 \div 15$  m chỉ sử dụng ống hút cong ( hình 2-24).

**Dạng IV:** Nhà máy thủy điện trục ngang với turbin cấp xun được ứng dụng phổ biến ở cột nước  $H = 6 \div 10$ ,  $D_1 \geq 3.0$  m. Trong phạm vi này cũng có thể sử dụng nhà máy dạng II.

#### 2.6.4. Nhà máy thủy điện nhỏ loại sau đập và đường dẫn

Do nhà máy bố trí sau đập dâng hoặc cuối đường dẫn nên nó không chịu áp lực nước từ thượng lưu trên toàn bộ chiều dài nhà máy. Áp lực nước thượng lưu mà nhà máy phải chịu thông qua đường ống dẫn nước vào nhà máy. Trạm thủy điện sau đập sử dụng trong phạm vi cột nước không quá  $50 \div 60$  m, còn với TTĐ đường dẫn có thể đến  $1000 \div 1200$  m. Với cột nước cao công suất nhỏ các trạm thủy điện loại này thường được trang bị các loại turbin có đường kính nhỏ không quá 1.5m. Thiết bị động lực của các trạm thủy điện cột nước cao (bao gồm BXCT turbin, buồng xoắn, ống hút, các van và thiết bị đóng mở, máy phát điện) về nguyên tắc là được chế tạo sẵn đồng bộ trong nhà máy, tại công trường xây dựng chỉ còn là công việc lắp ghép các bộ phận



**Hình 2-26.** Nhà máy TĐ sau đập trục ngang, buồng turbin chính diện, turbin tâm trục ( Dạng V-b)

phần của chúng lại với nhau. Vì vậy kích thước phần dưới nước được xác định bởi kích thước thiết bị đồng bộ được chế tạo sẵn này và hình thức lắp đặt chúng. Từ kinh nghiệm thực tế thiết kế, xây dựng các công trình thủy điện nhỏ sau đập và đường dẫn cho thấy khối lượng công trình ít phụ thuộc vào cột nước công tác của TTĐ mà chủ yếu phụ thuộc vào hình thức lắp đặt ( trục đứng, trục ngang, trục xiên) và sơ đồ dẫn nước vào ( buồng turbin) và đường kính BXCT của chúng. Các dạng kết cấu cơ bản phần dưới nước của chúng được thể hiện trên các hình 2-25÷2-28.

**Dạng V:** Nhà máy với turbin trục ngang, buồng dẫn nước turbin hình ống ( hình 2-25, 2-26).

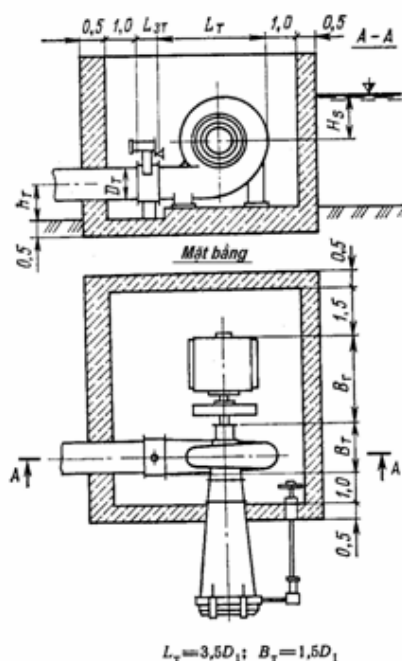
Dạng này được sử dụng ở các TTĐ cột nước  $H = 8 \div 120$  m, turbin đường kính  $D_1 \leq 1.0$  m. Với cột nước  $H = 30 \div 120$  m thường sử dụng turbin tâm trục, khi cột nước  $H \leq 30$  m có thể sử dụng turbin hướng trục.

Buồng turbin dạng hình ống dẫn nước bên hông hoặc chính diện. Trong trường hợp dẫn nước bên hông, trục turbin xuyên qua buồng turbin và trục tổ máy song song với trục nhà máy. Với buồng turbin dạng chính diện ( hình 2-26), trục turbin xuyên qua khuỷu cong của ống hút và trục tổ máy vuông góc với trục nhà máy ( cùng hướng với đường ống dẫn nước). Ống hút hình nón cụt trục đứng với hầm xả nước đặt dưới tổ máy. Tổ máy hình 2-26 được ứng dụng rộng rãi trong các trường hợp turbin có đường kính  $D_1 \leq 0.5$  m.

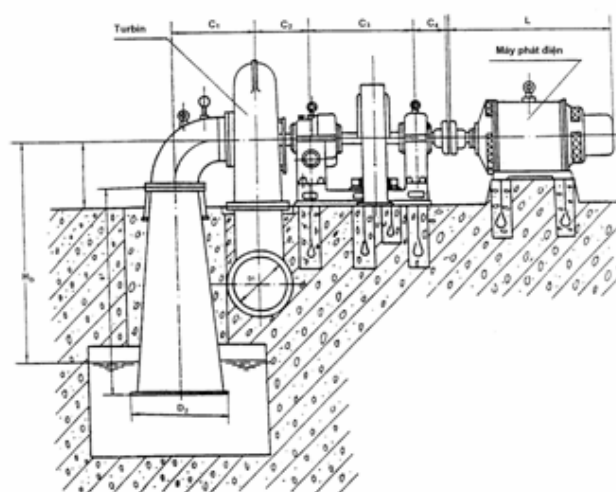
*Dạng VI:* Nhà máy với turbin trục ngang, buồng xoắn kim loại ( hình 2-27, 2-28).

Loại này được sử dụng với cột nước  $H = 10 \div 400$  m, turbin tâm trục đường kính  $D_1 \leq 1.0$  m. Ống hút có thể trục thẳng ( hình 2-27) hoặc khuỷu cong. Với cột nước  $H = 50 \div 400$  m cho thấy nó có lợi hơn cả so với các dạng khác do giảm được kích thước nhà máy.

*Dạng VII:* Nhà máy TĐ với turbin trục xiên, buồng hình ống, ống hút khuỷu cong ( hình 2-29) được sử dụng khi cột nước trong khoảng  $10 \div 30$  m, turbin hướng trục đường kính  $D_1 = 1 \div 1.5$  m. Với phương án này khối lượng bê tông khối dưới nước giảm đi đáng kể.



**Hình 2-27.** Nhà máy với TB tâm trục, trục ngang, buồng xoắn kim loại, ống hút hình nón cụt thẳng trục (Dạng VI-a).



**Hình 2-28.** Nhà máy với TB tâm trục, trục ngang, buồng xoắn kim loại, ống hút hình nón cụt khuỷu cong (Dạng VI-b).

*Dạng VIII:* Nhà máy với turbin tâm trục, trục đứng, buồng xoắn kim loại ( hình 2-30).

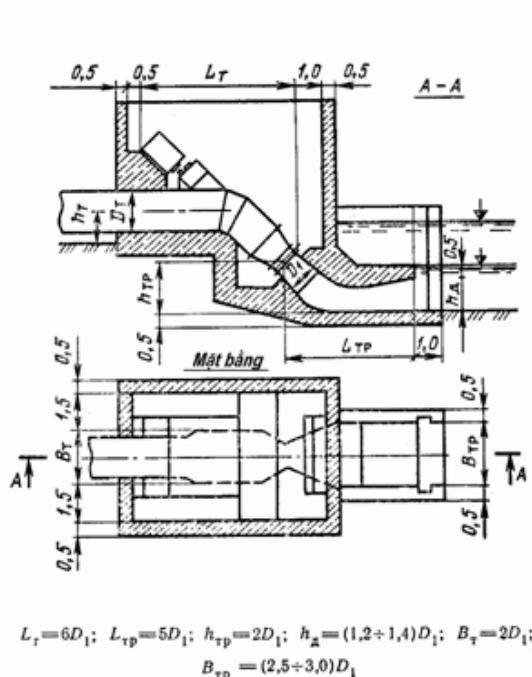
Khi sử dụng turbin tâm trục với đường kính BXCT  $D_1 \geq 1.5$  m không phụ thuộc vào cột nước người ta thường sử dụng hình thức lắp máy trục đứng với buồng xoắn

kim loại, ống hút hình nón cụt thẳng trục hoặc ống hút cong có dạng thông thường.

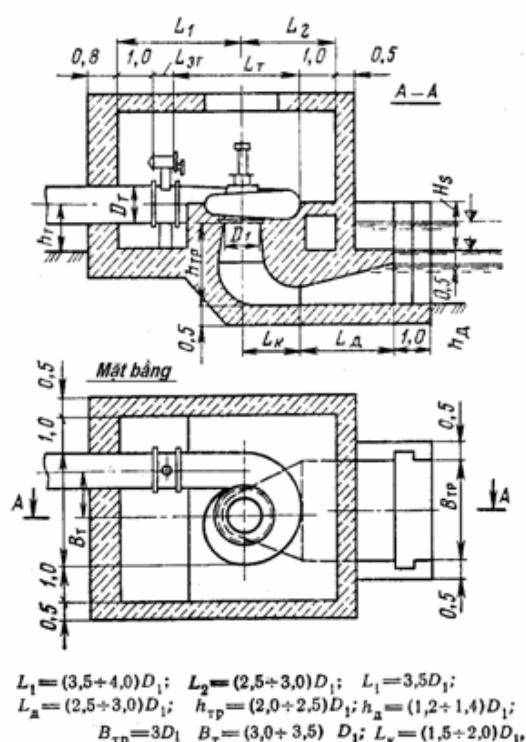
Máy phát điện đặt hờ trên sàn nhà máy, bệ đỡ máy phát dưới dạng dầm ngang cùng với sàn hoặc cùng với hệ thống cột đỡ. Một nửa buồng xoắn đặt trong khối bê tông. Với kết cấu này tạo cho tổ máy một liên kết vững chắc, móng nhà máy không sâu, điều kiện vận hành của thiết bị bảo đảm an toàn hơn.

Kích thước phần trên nhà máy được xác định trên cơ sở kích thước thiết bị chính và cầu trục bố trí trong nó và có cấu tạo theo dạng kết cấu nhà công nghiệp. Các hệ thống thiết bị phụ và các phòng quản lý vận hành ở nhà máy thủy điện nhỏ cũng được đơn giản hoá và kết hợp lại. Thông thường phòng điều khiển trung tâm được bố trí luôn vào đầu gian máy.

Gian lắp ráp sửa chữa có thể không bố trí hoặc bố trí bên ngoài dưới dạng tạm thời có mái che có thể tháo dỡ được.



**Hình 2-29.** Nhà máy trục xiên, TB hướng trục, buồng turbine hình ống (Dạng VI)



**Hình 2-30.** Nhà máy TĐ trục đứng, turbine tâm trục, buồng xoắn kim loại (Dạng VIII)

## Câu hỏi chương 2

1. Phân loại các nhà máy thủy điện theo cách bố trí và đặc điểm cấu tạo.

2. Đặc điểm cấu tạo nhà máy thủy điện ngang đập trực đứng không kết hợp xả lũ. Ưu nhược điểm và ứng dụng.
3. Đặc điểm cấu tạo nhà máy thủy điện sau đập trực đứng, ưu nhược điểm và ứng dụng.
4. Đặc điểm cấu tạo nhà máy thủy điện đường dẫn trực đứng, ưu nhược điểm và ứng dụng.
5. Đặc điểm cấu tạo nhà máy thủy điện ngầm, ưu nhược điểm và ứng dụng.
6. Đặc điểm cấu tạo và nguyên lý thiết kế nhà máy thủy điện nhỏ.

### **Chương III**

## **CÁC VẤN ĐỀ VỀ THUYẾT LỰC DÒNG ỔN ĐỊNH**

### **TRONG TRẠM THỦY ĐIỆN**

#### **3.1. CÁC BỘ PHẬN DẪN NƯỚC VÀO NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN**

##### **3.1.1. Lòng dẫn**

Phần thượng lưu nhà máy thủy điện trước cửa lấy nước được gọi là lòng dẫn, nó bảo đảm dẫn nước vào nhà máy một cách thuận lợi.

Ở các trạm thủy điện đường dẫn cột nước thấp thì việc dẫn nước vào cửa lấy nước nhà máy thủy điện chủ yếu tập trung vào việc đảm bảo ngăn chặn bùn cát lắng đọng. Còn ở các trạm thủy điện với sơ đồ khai thác sau đập hoặc đập kết hợp đường dẫn thì thường cửa lấy nước đặt cao hơn đáy sông rất nhiều do đó không cần thiết phải có các bộ phận như tường hướng dòng, đào sâu lòng dẫn hoặc biện pháp gia cố lòng dẫn. Vì vậy, trong các trường hợp này các bộ phận công trình lòng dẫn không cần thiết phải có.

Đối với trạm thủy điện kiểu lòng sông về nguyên tắc phải có phần lòng dẫn, hình dạng và kết cấu của nó phụ thuộc vào điều kiện địa hình, địa chất và sơ đồ bố trí tổng thể chung của toàn bộ công trình đầu mối, đặc biệt là vị trí nhà máy trong bố trí tổng thể đó (Ví dụ bố trí giữa dòng sông, bãi sông hoặc trong bờ). Khi thiết kế cần phải xác định hình dạng, kích thước các tường hướng dòng cũng như kênh dẫn dòng vào nhà máy thủy điện. Trong một số trạm thủy điện cần thiết phải có các biện pháp gia cố lòng dẫn và bờ kênh dẫn dòng để đảm bảo chống xói lở thượng lưu.

Cao trình đáy lòng dẫn phụ thuộc vào cao trình cửa lấy nước, chiều dài lòng dẫn, độ sâu dòng chảy và các điều kiện địa hình, địa chất cũng như các biện pháp dẫn dòng thì công mà có thể bố trí khác nhau. Đáy lòng dẫn nằm ngang trên toàn bộ chiều dài của nó hoặc là có dốc ngược ở đoạn đầu sau đó là đoạn nằm ngang nối tiếp với cửa lấy nước. Cũng có nhiều trường hợp đoạn đầu nằm ngang, đoạn cuối có dốc thuận đến cửa lấy nước. Độ dốc của lòng dẫn ở các đoạn không nằm ngang thường lấy  $m \geq 4$ .

Tổn thất thủy lực trong lòng dẫn nước đến cửa trạm thủy điện chủ yếu là tổn thất do ma sát và tổn thất mở rộng theo hướng đứng do hạ thấp lòng dẫn trước khi vào cửa lấy nước. Nhưng nói chung tổn thất cột nước trong nó không lớn nên có thể cho phép nâng cao đáy và hạ thấp nó so với ngưỡng cửa lấy nước trong trường hợp cần thiết để tiện lợi trong việc bố trí tổng thể công trình.

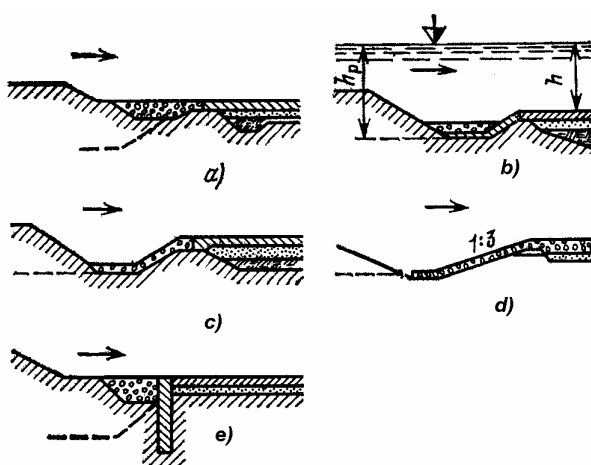
Sự cần thiết phải gia cố lòng dẫn và bờ được quyết định bởi vận tốc dòng chảy trong nó. Khi vận tốc dòng chảy lớn hơn vận tốc xói lở tính toán, đặc biệt là đối với các trạm thủy điện kết hợp xả lũ thì việc gia cố lòng dẫn là cần thiết. Trong



nhiều trường hợp việc gia cố lòng dẫn được quyết định bởi các giải pháp dẫn dòng thi công qua nó.

Như đã nói ở trên, sự cần thiết phải gia cố lòng dẫn được quyết định bởi vận tốc dòng chảy, do đó khi chọn cao trình đáy lòng dẫn cần phải xem xét việc nâng cao đáy dẫn đến làm tăng vận tốc dòng chảy và cần thiết phải gia cố đoạn đầu lòng dẫn. Sự cần thiết phải gia cố đoạn đầu lòng dẫn phải trên cơ sở tính toán độ sâu xói lở trước đoạn gia cố nằm ngang (sân phủ). Độ sâu xói lở trước đoạn gia cố có thể xác định sơ bộ theo công thức kinh nghiệm sau:

$$h_p = 1,17 \sqrt{\frac{k_q q}{4.85 d_{50}^{1/3}}} \quad (3-1)$$



**Hình 3-1.** Sơ đồ cấu tạo phần gia cố đầu dòng dẫn

Trong đó:  $k_q = 1 \div 1,5$  - hệ số phân bố lưu lượng không đều theo chiều rộng của lòng dẫn;  $q$  - lưu lượng đơn vị,  $m^2/s$ ;  $d_{50}$  - đường kính trung bình của hạt đất trước phần gia cố,  $m$ .

Thông thường việc gia cố phần đầu của lòng dẫn được làm bằng đá đổ hình 3-1,a, hoặc dưới dạng các hố xói hình 3-1,b,c,d, trong đó mái dốc phía cửa lấy nước được gia cố bằng đá lát khan, trong nhiều trường hợp có thể làm dưới dạng tường răng hình 3-1,e. Bờ kênh hướng dòng, đáy các tường

hướng dòng và tường cánh cũng cần được gia cố để tránh xói lở.

Đường kính của các hòn đá gia cố trên mái hố xói trước lòng dẫn được xác định theo công thức:

$$d = k \frac{(k_v v)^2}{11,6 g} \quad (3-2)$$

Trong đó:  $k_v = 1,15 \div 1,25$  - hệ số mạch động của dòng chảy;

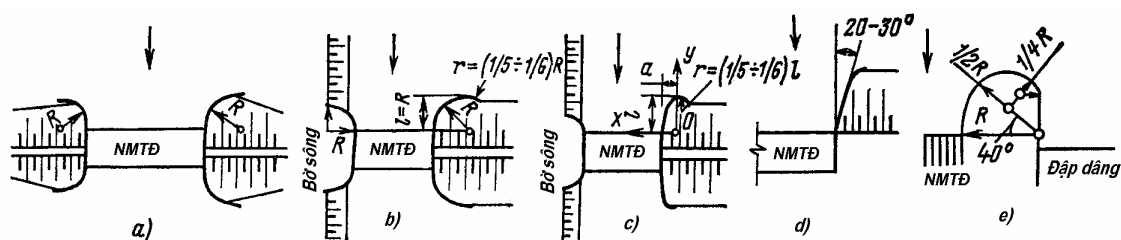
$v = 1,15 q/h$  - vận tốc lớn nhất theo hướng đứng của dòng chảy,  $m/s$ ;

$k = 1,2 \div 1,4$  - hệ số an toàn;  $h$  - độ sâu của dòng chảy,  $m$ .

### 3.1.2. Các công trình hướng dòng. (hình 3-2).

Với mục đích tạo điều kiện thuận lợi về thủy lực khi dòng chảy chảy vào cửa lấy nước của trạm thủy điện, đảm bảo phân bố đều lưu lượng cho các tổ máy ở các trạm thủy điện kiểu lòng sông với đập đất hoặc bên bờ người ta bố trí các tường hướng dòng.

Hình dạng tối ưu của các tường hướng dòng trong các trường hợp cụ thể xác



**Hình 3-2.** Hình dạng các tường hướng và phân dòng.

định trên cơ sở thí nghiệm mô hình. Khi thiết kế sơ bộ đối với các trạm thủy điện kiểu lòng sông nhà máy tiếp nối với đập đất bởi các tường hướng dòng thì chiều dài  $l$  của nó có thể lấy bằng phần mái dốc thượng lưu của đập đất (hình 3-2,a,b,c). Khi nhà máy tiếp nối với bờ thì chiều dài đường hướng dòng có thể ngắn nhưng không thể ngắn hơn chiều dài sân phủ nếu như phía trước nhà máy có sân phủ.

Trên hình chiếu mặt bằng đường hướng dòng có dạng hình tròn (hình 3-2b) với bán kính cong  $R$  hoặc hình elíp (hình 3-2,c), nhưng tốt nhất là hình elíp hoặc gần với nó.

Với hình elíp (hình 3-2,c) thì phương trình của hình elíp thể hiện dưới công thức sau:

$$\frac{y^2}{l^2} + \frac{x^2}{a^2} = 1 \quad (3-3)$$

Tỉ số  $l/a$  thường được chọn trong khoảng  $l/a = 2,5 \div 3$ .

Ở các trạm thủy điện không kết hợp, khi vận tốc trong lòng dẫn nhỏ hơn 1 m/s thì tường hướng dòng có kết cấu đơn giản do tổn thất thủy lực không đáng kể (hình 2, d).

### 3.1.3. Tường phân dòng

Ở các trạm thủy điện không kết hợp tràn xả lũ cùng với nhà máy thủy điện thì giữa tràn xả lũ và nhà máy thủy điện được bố trí một tường phân dòng để tạo điều kiện thuận lợi cho dòng chảy khi trạm thủy điện và tràn xả lũ làm việc riêng biệt cũng như khi cùng làm việc. Các kết quả nghiên cứu cho thấy rằng ở các nhà máy không kết hợp xả lũ khi tràn xả lũ không làm việc thì điều kiện dẫn nước vào nhà máy thuận lợi nhất trong trường hợp tường phân dòng ngắn. Ở các trạm thủy điện kết hợp xả lũ trong phạm vi nhà máy khi cả tràn và nhà máy đồng thời làm việc do dòng chảy thẳng góc với tuyến công trình nên điều kiện thủy lực khi chúng làm việc nói chung là thuận lợi.

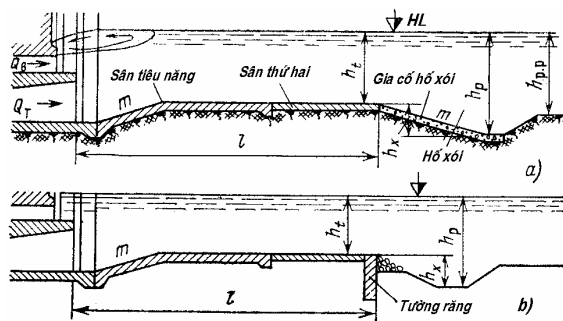
The diagram shows a Z-shaped beam cross-section. The total height is  $l$ . The top flange has a width  $B_1$  and a thickness  $0,27B_1$ . The web has a height  $1,73B_1$  and a thickness  $0,48B_1$ . The bottom flange has a width  $B_1$  and a thickness  $0,58B_1$ . The centroid is located at a distance  $r_1 = 1,5B_1$  from the bottom flange's outer edge and  $r_2 = B_1$  from the top flange's outer edge. A vertical force  $F$  is applied at the top center. The beam is supported by a fixed support at the bottom left, with a horizontal distance  $B_1$  from the support to the centerline of the bottom flange. The label "NMTD" is present near the support.

thể xác định theo sơ đồ hình 3-2e, trong đó  $R \leq 0,1B$  ( $B$  - chiều dài nhà máy thủy điện tính theo phương chính diện của cửa lấy nước) nhưng không vượt quá 5 - 6 m. trong một số trường hợp tường ngăn có thể dài nhưng không vượt quá chiều dài sân phủ, còn trong trường hợp vận tốc trong lòng dẫn nhỏ ( $< 1$  m/s) thì không cần thiết phải bố trí tường phân dòng.

Khi nhà máy được bố trí bên bờ hoặc một phần đặt vào bờ thì đường viền lòng dẫn phía bờ có ý nghĩa lớn đối với tổn thất thủy lực khi trạm thủy điện làm việc. Đường viền này dưới dạng là một tường chắn đất hoặc mái dốc nghiêng nhưng chúng phải bảo đảm sự phân bố đều lưu lượng cho các tổ máy thủy điện cùng hoạt động. Nói

### 3.2. CÁC BỘ PHẬN DẪN DÒNG SAU NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN

Sau khi nước ra khỏi turbin của trạm thủy điện nói chung vẫn còn một phần năng lượng tương đối lớn được tàng trữ dưới dạng động năng, với năng lượng này dòng chảy có thể làm hư hỏng các thành phần công trình phía hạ lưu nhà máy, gây xói lở hạ lưu. Để làm giảm sự phá huỷ hạ lưu của dòng chảy cần có các biện pháp làm tiêu hao năng lượng thừa này hoặc các bộ phận công trình phía hạ lưu phải được gia cố bảo vệ để chống xói lở. Các bộ phận phần gia cố hạ lưu nhà máy thủy điện được thể hiện trên hình 3-4. Phần sân tiêu năng là bộ phận nối trực tiếp với nhà máy thủy điện chịu tác động của vận tốc lớn nhất, sự phân bố không đều của vận tốc dòng chảy, áp lực mạch động. Vùng này là vùng mà khả năng xói lở lớn nhất của dòng chảy. Sau sân tiêu năng là bộ phận được gọi là sân sau (sân thứ hai) nhằm mục đích tiêu hao phần năng lượng còn lại dưới dạng động năng bằng cách điều hoà vận tốc dòng chảy và ổn định mực nước sau sân tiêu năng. Bộ phận cuối cùng sau sân thứ hai là phần gia cố bảo vệ cho sân thứ hai này khỏi bị xói lở dưới dạng hố tiêu năng (hình 3 - 4a), hoặc tường răng cưa sâu vào đất (hình 3 - 4b).



**Hình 3-4.** Các thành phần gia cố sau nhà máy thủy điện

a. Sân sau được kết thúc bằng hố tiêu năng; b. Sân sau được kết thúc bởi tường răng

công trình xả lũ làm việc chúng tạo nên hạ lưu dòng chảy rối và có thể gây nên nước nhảy đáy phóng xa. Để tạo nên nước nhảy ngập sau nhà máy cần phải có biện pháp làm sâu dòng chảy hạ lưu. Để làm được điều đó nhiều khi người ta sử dụng bể tiêu năng. Việc sử dụng các công trình tiêu năng sau nhà máy thủy điện là không có lợi vì điều đó sẽ dẫn đến việc giảm cột nước công tác của trạm thủy điện.

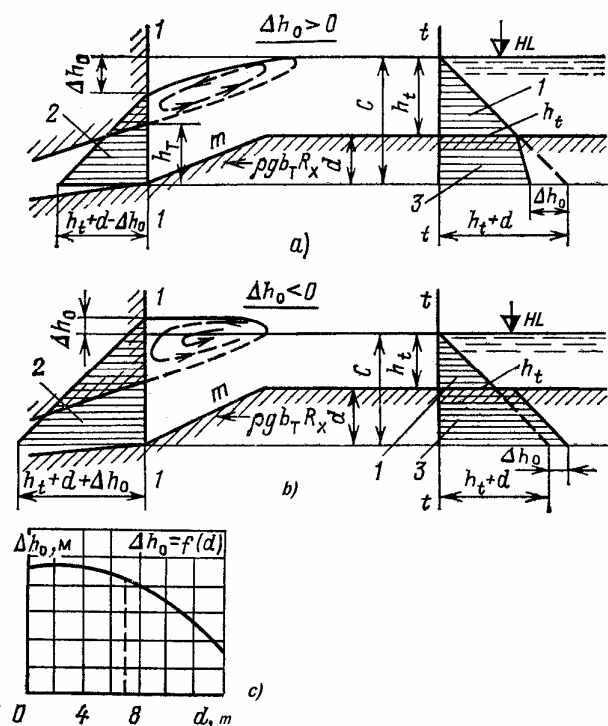
Việc tính toán thủy lực hạ lưu nhà máy thủy điện bao gồm xác định độ sâu phục hồi của dòng chảy, cao độ và chiều dài phần gia cố hạ lưu, độ sâu hố xói để có biện pháp bảo vệ sau tiêu năng, đường kính trung bình của lớp đá lát bảo vệ hố xói. Đối với trạm thủy điện kết hợp ngoài những việc kể trên cần phải tính toán chế độ dòng chảy hạ lưu cần thiết để thiết kế các thành phần gia cố và xác định hiệu quả của hiện tượng phun xiết sau nhà máy thủy điện.

### 3.2.2. Tính toán xác định độ sâu phục hồi, cao trình đáy và chiều dài gia cố hạ lưu

Vận tốc dòng chảy sau khi ra khỏi ống hút của trạm thủy điện không lớn lắm. Sau ống hút thường tạo nên vùng xoáy mặt. Nếu cao trình sân tiêu năng lựa chọn hợp lý, khi đó độ sâu dòng chảy  $h_t$  (hình 3 - 5) lớn hơn độ sâu phân giới  $h_k = \sqrt[3]{\alpha q / g}$ , trong đó  $q$  - lưu lượng đơn vị;  $\alpha = 1,15 \div 1,2$ , mực nước tại cửa ra ống hút sẽ thấp hơn mực nước trên sân tiêu năng với một độ chênh  $\Delta h_0$  được gọi là độ sâu phục hồi làm tăng cột nước công tác của turbin. Khi độ sâu  $h_t$  trên sân tiêu năng không lớn, thay vào độ sâu phục hồi là độ sâu ngập  $\Delta h_0$  (hình 3 - 5b) làm giảm cột nước công tác của turbin. Trong trường hợp khi  $h_t = h_k$  thì phía hạ lưu trên đoạn dốc của sân tiêu năng xuất hiện dòng chảy sóng. Khả năng xuất hiện sóng và các thông số của nó cũng có thể xác định một cách gần đúng theo các tài liệu hiện nay về sóng dao động. Nhưng khi thiết kế trạm thủy điện cần phải loại bỏ mọi khả năng xuất hiện sóng ở hạ lưu nhà máy. khi trị số Frut  $F_r = q^2 / (q \cdot h_t^3) \leq 0,1$  thì biên độ sóng không vượt quá  $0,1h_t$  và sóng này sẽ không nhận thấy được. Do vậy trong các

Hạ lưu nhà máy thủy điện cũng có thể bố trí tường phân cách giữa tràn xả lũ và nhà máy thủy điện nhằm bảo đảm cho chế độ thủy lực của hai công trình độc lập nhau, tránh hiện tượng giao thoa của dòng chảy có thể tăng khả năng xói lở của nó và sự biến đổi của mực nước. Ngoài ra, để bảo vệ bờ hạ lưu hoặc đập đất người ta bố trí thêm các tường cánh nối tiếp vào các tường chắn hai đầu nhà máy tương tự như ở phần lòng dẫn phía thượng lưu.

Ở các trạm thủy điện kết hợp xả lũ trong phạm vi nhà máy, khi các



Hình 3-5. Sơ đồ tính toán độ sâu phục hồi

xuất hiện khi dòng chảy đổi hướng sau khi ra khỏi ống hút, thành phần này bằng  $\rho g b_T R_x$

Phương trình biến thiên động lượng của khối nước đang xét khi xuất hiện cột nước  $\Delta h_0$  phục hồi có thể viết dưới dạng:

$$\rho \cdot Q_T^2 \left( \frac{\alpha_i}{h_i B} - \frac{\alpha_T}{\omega_T} \right) = \rho g \frac{(h_i + d - \Delta h_0)^2}{2} B - \rho g \frac{(h_i + d)^2}{2} B + \rho g \frac{d \cdot \Delta h_0}{2} B - \rho g b_T R_x \quad (3-4)$$

Trong đó:  $Q_T$ ,  $\omega_T$ ,  $b_T$  - tương ứng là lưu lượng, diện tích tiết diện và chiều rộng cửa ra của ống hút;  $B$  - chiều rộng khối tổ máy, các ký hiệu còn lại thể hiện trên hình 3-5. Từ biểu thức (3-4) chia hai vế cho  $\rho g/2$  và biểu diễn  $\beta = b_T/B$  ta có:

$$\frac{2Q_T^2}{gB} \left( \frac{\alpha_i}{h_i B} - \frac{\alpha_T}{\omega_T} \right) = \Delta h_0^2 - 2(h_i + d)\Delta h_0 + d\Delta h_0 - 2\beta R_x \quad (3-5)$$

Bỏ qua thành phần vô cùng bé  $\Delta h_0^2$  từ (3 - 5) có thể xác định độ sâu phục hồi:

$$\Delta h_0 = \frac{A_0 - 2\beta R_x}{2h_i + d} \quad (3-6)$$

Tương tự thư đã trình bày trên ta có thể xác định được độ sâu ngập;

$$\Delta h_0 = \frac{A_0 - 2\beta R_x}{2h_i + d} \quad (3-7)$$

trường hợp tính toán cần đảm bảo hạ lưu không xuất hiện sóng hoặc nếu xuất hiện thì biên độ của nó phải rất nhỏ.

Độ sâu phục hồi hoặc độ sâu ngập  $\Delta h_0$  phụ thuộc vào cao trình đáy và độ sâu dòng chảy ở hạ lưu và có thể xác định được từ phương trình biến thiên động lượng chiếu trên mặt nằm ngang theo hướng dòng chảy của một khối nước nằm giữa hai mặt cắt 1-1 và t-t. Các lực tác dụng vào khối chất lỏng đó bao gồm: áp lực nước tại tiết diện t-t mại (biểu đồ 1) và tại tiết diện 1-1 (biểu đồ 2); thành phần phản lực của áp lực thủy tĩnh trên đoạn nghiêng (biểu đồ 3) và thành phần phản lực theo hướng nằm ngang

Trong các công thức (3-6), (3-7) các đại lượng:

$$A_0 = \frac{2Q_T^2}{gB} \left( \frac{\alpha_T}{\omega_T} - \frac{\alpha_t}{h_t B} \right) \quad (3-8)$$

$$R_x = 0,1 \alpha_T \frac{d}{g} \left( \frac{Q_T}{\varpi_T} \right)^2 \quad (3-9)$$

Trong đó:  $\alpha_T = 1,35 \div 1,4$  và  $\alpha_t = 1,03 \div 1,04$  là các hệ số động lượng ở các tiết diện 1-1 và t-t.

$A_0 > 2\beta R_x$  thì trong chế độ này sẽ xuất hiện độ sâu phục hồi và do đó sử dụng công thức (3-6). Khi  $A_0 < 0$  sẽ là chế độ mà khi đó xảy ra khả năng xuất hiện độ sâu ngập và xác định theo công thức (3-7).

Cao trình đáy sân tiêu năng khi đó hoàn toàn loại bỏ khả năng xuất hiện độ sâu ngập  $\Delta h_0$  là khi đó trong mọi trường hợp  $\Delta h_0$  tính theo công thức (3-6) đều lớn hơn 0.

$$\frac{2Q_T^2}{gB} \left( \frac{\alpha_T}{\omega_T} - \frac{\alpha_t}{h_t B} \right) - 2\beta R_x \geq 0 \quad (3-10)$$

Bỏ qua thành phần áp lực lên đoạn nghiêng ta có thể xác định độ sâu mực nước hạ lưu tương ứng với điều kiện không xuất hiện trường hợp ngập hạ lưu với độ sâu ngập  $\Delta h_0$ :

$$h_t \geq \frac{\alpha_t}{\alpha_T} \beta h_T \quad (3-11)$$

Cũng từ biểu thức (3-6) ta có thể xác định cao trình sân tiêu năng mà khi đó cột nước ( độ sâu ) phục hồi  $\Delta h_0$  đạt giá trị lớn nhất:

$$d = \frac{c^2 - 3c\beta h_T \alpha_t / \alpha_T}{2(c - \beta h_T \alpha_t / \alpha_T)} \quad (3-12)$$

Trong đó  $c = h_t + d$ .

Khi thiết kế lòng dẫn hạ lưu, cần phải tính đến khả năng có được độ sâu phục hồi lớn nhất. Để làm được điều đó, đối với các trạm thủy điện không kết hợp dựa vào phương trình (3-6) xây dựng các đồ thị  $\Delta h_0 = f(d)$  (hình 3-5,c). Trị số  $d$  được chọn trên đồ thị tại vị trí mà khi đó trị số  $\Delta h_0$  bắt đầu giảm nhanh vì từ vị trí đó nếu  $d$  thì trị số cột nước phục hồi  $\Delta h_0$  cũng tăng lên không đáng kể. Trong nhiều trường hợp cao độ sân tiêu năng do điều kiện địa chất quyết định. Khi tính toán sơ bộ, cao độ sân tiêu năng có thể xác định theo công thức (3-12) đối với chế độ tính toán là chế độ mà trạm thủy điện duy trì lâu nhất.

Khi tính toán nhà máy trạm thủy điện kết hợp xả lũ, vấn đề trước hết là xác định vị trí cao độ sân tiêu năng bảo đảm cho nước nhảy ngập khi các công trình xả

Độ sâu liên hợp  $h_c$  trên hình (3-6) nhà máy thủy điện kết hợp xả lũ không chỉ phụ thuộc vào lưu lượng của các công trình xả lũ mà còn phụ thuộc vào vận tốc ở tiết diện co hẹp  $h_c$  và lưu lượng qua các turbin của trạm thủy điện xả xuống hạ lưu qua các ống hút của nó. Tuy nhiên, trong tính toán hiện nay cũng chưa kể đến điều này, tức là không kể tới sự ảnh hưởng của lưu lượng qua turbin đến độ sâu co hẹp nhà máy khi xả lũ và  $h_c$  được xác định theo công trình:

xác định lưu lượng của công trình xả lũ với tràn tiết diện thực dụng (hình 3 - 6,c), độ sâu  $h_1$  trên mũi phun xác định bằng cách thử dần từ công thức:

$$h_1 = \frac{q}{\varphi \sqrt{2g(T'_0 - h_1)}} \quad (3-16)$$

Trong đó  $\varphi = 1 - 0,0155 P/H$  - hệ số vận tốc;  $P$ ,  $H$  và  $T'_0$  - thể hiện trên hình 3 - 6,e; vận tốc  $v_1 = q/h = \varphi \sqrt{2g(T'_0 - h_1)}$

Độ sâu liên hiệp  $h_e''$  xác định từ công thức:

$$h_e'' = \frac{h_c}{2} \left( \sqrt{1 + \frac{8q^2}{gh_c^3}} - 1 \right) \quad (3-17)$$

Điều kiện nổi tiếp hạ lưu bằng nước nhảy ngập thể hiện qua công thức (3-18) đó là độ sâu hạ lưu trên sân tiêu năng phải đảm bảo điều kiện:

$$h_t = (1,05 - 1,1) h_e'' \quad (3-18)$$

Ở một số nhà máy thủy điện người ta vẫn bố trí bể tiêu năng mặc dù làm như thế sẽ giảm cột nước phục hồi và giảm hiệu quả của phun xiết sau nhà máy thủy điện.

Sau khi thực hiện xong các bước tính toán liên quan tới việc bảo đảm nước chảy ngập ở hạ lưu, bước tiếp theo là xác định cao trình tối ưu của sân tiêu năng. Đối với trạm thủy điện không kết hợp xả lũ việc tính toán cũng theo trình tự đó song trị số  $d$  lớn nhất được coi là đã biết trước.

Độ dốc của sân tiêu năng theo các nghiên cứu thực nghiệm đã khẳng định rằng đoạn dốc của sân tiêu năng nên chọn trong khoảng  $m = 3 \div 3,5$ . Khi đó cột nước phục hồi sẽ đạt được giá trị lớn nhất. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy rằng hiệu suất của tuabin cũng không thay đổi khi độ dốc đoạn đầu sân tiêu năng  $m = 3 \div 3,5$ . Do việc tăng độ dốc sân tiêu năng sẽ làm giảm khối lượng đào móng công trình và dòng dẫn hạ lưu do đó trong thiết kế người ta đề nghị chọn độ dốc của nó  $m = 3 \div 3,5$ . Đoạn dốc sân tiêu năng bắt đầu sau ống hút của trạm thủy điện một khoảng cách từ  $1 \div 2$  m.

Chiều dài đoạn gia cố hạ lưu (hình 3-4 ) phụ thuộc vào địa chất nền móng mà trên đó bố trí các thành phần công trình gia cố hạ lưu, vào độ sâu dòng chảy và tỷ năng dòng chảy tức là năng lượng cần tiêu hao. Lưu lượng đơn vị, động năng và mạch động trên sân sau (sân thứ 2) luôn luôn lớn hơn so với dòng chảy trong sông, do vậy, nếu chiều dài gia cố không đủ lớn sẽ xảy ra xói lở. Các thí nghiệm đã khẳng định được rằng sau các đập tràn với chiều sâu nước  $h_e = (1,05 \div 1,1) h_e''$  dòng chảy đảm bảo ổn định và độ sâu tương đối của bể xói có thể chấp nhận và ổn định trên chiều dài gia cố  $l = (11 - 12,5) h_e''$ . Khi độ sâu hạ lưu lớn hơn, sau các trạm thủy điện kết hợp xả lũ điều kiện để tiêu năng tốt hơn, tuy nhiên do trong quá trình



vận hành của trạm thủy điện kết hợp xả lũ các chế độ vận hành của các công trình phức tạp mà các thực nghiệm chưa khẳng định được nên khi thiết kế vẫn không giảm chiều dài đoạn gia cố so với đập tràn không kết hợp.

Mạch động của vận tốc đáy trong lòng dẫn hạ lưu nhà máy thủy điện không kết hợp xả lũ giảm dần theo chiều dài và như trên một chiều dài tương đối ở đập tràn thông thường nhưng mức độ mạch động và do đó khả năng xói lở của dòng chảy ít hơn. Chính vì vậy mà ở trạm thủy điện không kết hợp chiều dài gia cố có thể lấy ngắn hơn một ít so với ở nhà máy thủy điện có kết hợp xả lũ (Xét theo chiều dài tương đối).

Chiều dài phần gia cố hạ lưu có thể lấy như sau:

- Đối với nhà máy thủy điện kết hợp xả lũ:

$$+ \text{Đất mềm: } l = (10 - 12)h_e \quad (3-19)$$

$$+ \text{Đá yếu (nửa đá): } l = (7 - 9)h_e'' \quad (3-20)$$

- Đối với trạm thủy điện không kết hợp xả lũ:

$$+ \text{Đất mềm: } l = (9 - 11) h_e'' \quad (3-21)$$

$$+ \text{Đá yếu : } l = (6 - 8) h_e'' \quad (3-22)$$

- Đối với trạm thủy điện kết hợp đặt trên nền đá thì chiều dài gia cố tính hết phần nước nhảy (hình 3-6). Chiều dài nước nhảy có thể xác định theo biểu thức:

$$l_n = 6 (1,1h_e'' - h_c) \quad (3-23)$$

- Đối với trạm thủy điện không kết hợp đặt trên nền đá thì phần gia cố lòng dẫn hạ lưu nói chung là không cần thiết.

### 3.2.3. Tính toán phần cuối đoạn gia cố

Việc xác định độ sâu hố xói hoặc độ sâu của tường răng sau sân thứ 2, cũng như xác định khối lượng và đường kính của lớp đá bảo vệ phần gia cố bị xói lở được căn cứ trên cơ sở xác định được độ sâu và hình dạng hố xói. Cũng căn cứ vào độ sâu và hình dạng của hố xói để đánh giá mức độ an toàn của công trình trong trường hợp không có biện pháp gia cố.

Vận tốc không xói lở  $v_0$ , m/s, của dòng chảy đều độ sâu  $h$ , m, đối với đất không dính được xác định theo công thức thực nghiệm:

$$V_o = 1.15 \sqrt{g} \sqrt[4]{hd} \sqrt{1.1 / \alpha} \quad (3-24)$$

Trong đó:  $d$  - đường kính trung bình của hạt tương ứng với 50% trên đường biểu diện thành phần hạt;  $\alpha = 1,1$  đối với dòng chảy đều là hệ số động năng.

Độ sâu dòng chảy trong hố xói (hình 3-4) có thể xác định từ biểu thức (3-24) có tính tới sự phân bố không đều của lưu tốc và lưu lượng theo chiều rộng của dòng chảy, khi đó  $v_0 = \chi q/h_p$ :

$$h_p = k_p \left( \frac{\chi q}{1,15\sqrt{gd}^{0,25}} \right)^{0,8} = k_p \left( \frac{\chi q}{v_{01}} \right)^{0,8} \quad (3-25)$$

Trong đó:  $q$  - lưu lượng đơn vị trung bình ở cuối đoạn gia cố;  $\chi = 1,1 - 1,3$  - hệ số phân bố không đều của lưu lượng  $q$  theo chiều rộng của dòng chảy;  $V_{01} = 1.15\sqrt{g^4 d}$  - vận tốc không xói của dòng chảy đều với độ sâu 1,0 m;  $k_p$  - hệ số gia tăng khả năng xói lở của dòng chảy do động năng dòng chảy chưa tiêu hao triệt để. Hệ số  $k_p$  phụ thuộc vào chiều dài đoạn gia cố và hệ số mái dốc của hố xói. Với chiều dài đoạn gia cố được tính theo các công thức (3-19) đến (3-22) nếu mái dốc hố xói không lớn ( $m \geq 6$ )  $k_p = 1,05$ , với  $m = 3 \div 4$  thì  $k_p = 1,0$ . Nếu phần gia cố chỉ được bố trí trên chiều dài đoạn có nước chảy đối với trạm thủy điện kiểu kết hợp xả lũ  $k_p = 1,7$  và đối với trường hợp dòng chảy đều  $k_p = 1,0$ .

Công thức (3-25) cũng cho phép xác định độ sâu dòng chảy sau hố xói (hình 3-4) khi đó dòng chảy là dòng đều và hệ số  $k_p = 1,0$ .

Đối với đất không dính, vận tốc không xói  $v_0$ , có thể xác định từ biểu thức (2-24) khi biết đường kính trung bình của thành phần hạt  $d_{50}$  với độ sâu nước  $h = 1m$ , hoặc có thể xác định theo các bảng tra có sẵn (ví dụ: bảng 3-1 và bảng 3-2).

Bảng 3 - 1

| Loại đất | Đường kính trung bình của thành phần hạt $d_{50}$ , mm | Vận tốc không xói $v_{01}$ , m/s khi $h = 1,0$ m |
|----------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Cát      | 0,25 ÷ 2                                               | 0,4 ÷ 0,7                                        |
| Dăm      | 2 ÷ 10                                                 | 0,7 ÷ 1,2                                        |
| sỏi      | 10 ÷ 25<br>30 ÷ 100                                    | 1,2 ÷ 1,65<br>1,7 ÷ 2,5                          |

Bảng 3 - 2

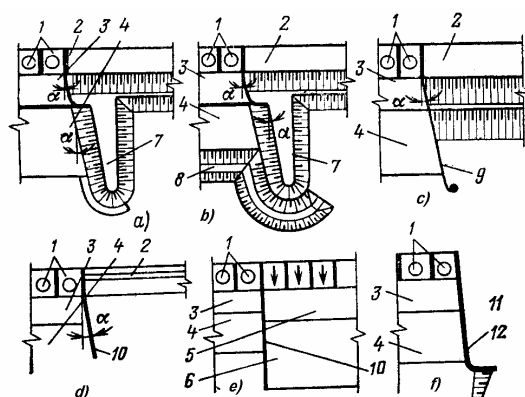
| Lực dính đơn vị của đất sét C, kG/cm <sup>2</sup> | 0,005 ÷ 0,05 | 0,075 ÷ 0,25 | 0,3 ÷ 0,4 | 0,45 ÷ 0,6 |
|---------------------------------------------------|--------------|--------------|-----------|------------|
| Vận tốc không xói $v_{01}$                        | 0,4 ÷ 0,8    | 0,9 ÷ 1,5    | 1,7 ÷ 2,0 | 2,1 ÷ 2,4  |

Đối với đất dính vận tốc không xói chủ yếu phụ thuộc vào lực dính đơn vị của đất và có thể xác định theo bảng 3-2. Đối với nền đá vận tốc không xói phụ thuộc vào sức kháng nén tạm thời của đất đá. Khi sức kháng nén tạm thời của đá thay đổi 50 ÷ 1000 kg/cm<sup>2</sup> thì vận tốc  $v_{01}$  thay đổi trên thực tế tỷ lệ thuận từ 3 ÷ 11m/s. Chính vì vậy khi sử dụng công thức (3-25) để tính độ sâu xói lở của nền đá bằng cách xem nó như đất không dính với các hạt độc lập và hòn đá tách rời với kích thước nhất định là điều hoàn toàn gần đúng. Sử dụng công thức (3-24) cũng có thể

xác định được đường kính của các lớp gia cố nếu đất gia cố là đất rời khi biết độ sâu dòng chảy đều  $h$  và vận tốc dòng chảy  $v_0$ .

### 3.3. VẤN ĐỀ NỐI TIẾP CÁC BỘ PHẬN CÔNG TRÌNH PHÍA HẠ LƯU TRẠM THỦY ĐIỆN

Mặt nước tự do ở hạ lưu trạm thủy điện sau nhà máy, sau đập không xả tràn và đập tràn xả lũ có cao độ khác nhau: mực nước cao nhất sau đập không có tràn, mực nước thấp nhất sau tràn xả lũ hoặc sau nhà máy thủy điện kết hợp xả lũ. Do có sự



**Hình 3-7.** Các công trình nối tiếp hạ lưu

*a - c nhà máy nối tiếp với đập đất, d - nhà máy nối tiếp với đập bê tông, e - nhà máy nối tiếp với đập tràn, f - nhà máy nối tiếp với bờ, 1 - tổ máy thủy điện, 2 - đỉnh đập, 3 - 4 - sân tiêu năng và sân thứ hai của nhà máy thủy điện, 5 - 6 - sân tiêu năng và sân thứ hai của đập, 7 - đê hướng dòng, 8 - hố xói, 9 - tường hướng dòng, 10 - tường phân dòng, 11 - bờ, 12 - tường nối tiếp.*

khác nhau về mực nước đó nên ở hạ lưu nhà máy thủy điện sẽ xuất hiện dòng chảy ngang gây nên dòng chảy chia cắt phức tạp ở lòng dẫn hạ lưu. Các thí nghiệm đã khẳng định được rằng, nếu nhà máy thủy điện không kết hợp nối tiếp với tràn xả lũ thì khi tràn xả lũ làm việc phía sau nhà máy thủy điện xuất hiện dòng chảy ngược khi các tổ máy thủy điện làm việc cũng như khi chúng không làm việc lưu lượng đơn vị trên sân thứ hai của đập trong trường hợp đó tăng lên và gây khó khăn cho điều kiện làm việc của nó. Ngoài ra khi xuất hiện dòng chảy ngược nó làm giảm hoặc loại bỏ hoàn toàn cột nước phục hồi và do đó gây ảnh hưởng xấu tới đặc tính năng lượng của trạm thủy điện. Để loại bỏ những ảnh hưởng xấu nói trên, hạ lưu trạm thủy điện cần phải có các công trình nối tiếp.

Các công trình nối tiếp hạ lưu đồng thời là những công trình hướng dòng

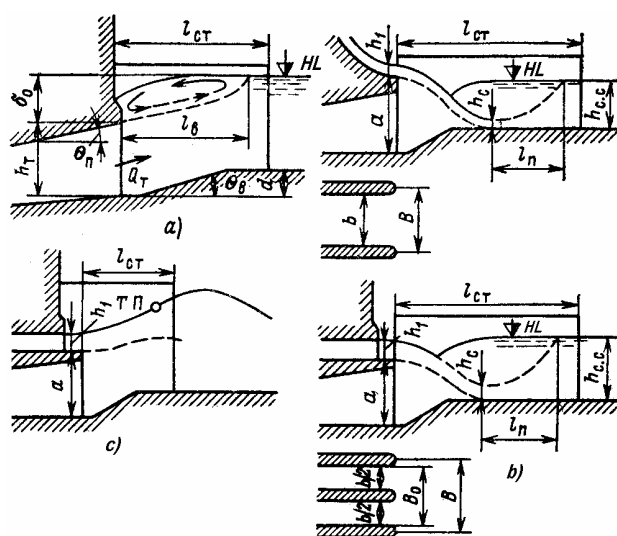
nhằm để bảo vệ bờ và đập đất tiếp giáp với nhà máy khỏi bị xói lở cũng như điều hoà dòng chảy và chống lại hiện tượng chảy quần ở hạ lưu nhà máy. Các công trình nối tiếp hạ lưu thường dưới dạng tường cánh, kênh hướng dòng và tường phân dòng (hình 3 - 10). Để bảo đảm cho dòng chảy không xảy ra hiện tượng tách dòng, các tường hướng dòng và bờ kênh trên mặt bằng không bố trí với góc ngoặt  $\alpha >$  lớn hơn  $6 - 10^\circ$ . Đối với trạm thủy điện kết hợp xả lũ, trong trường hợp không thể tránh được khả năng các công trình xả lũ làm việc không đều, tức là các khoang xả lũ không làm việc đồng thời cũng như khi các tổ máy thủy điện đưa vào vận hành theo từng giai đoạn khác nhau thì hạ lưu trạm thủy điện bố trí các tường ngăn theo từng nhóm tổ máy hoặc từng khoang tổ máy.

Chiều dài của tường hướng dòng và phân dòng được xác định theo các yêu cầu về kết cấu và thủy lực, nó phụ thuộc vào chế độ thủy lực ở hạ lưu và lưu lượng đơn vị sau nhà máy trạm thủy điện và sau đập tràn. ở các trạm thủy điện lớn chiều dài tường nối tiếp được chọn trên cơ sở thí nghiệm mô hình. khi thiết kế sơ bộ có thể tiến hành chọn như sau:

Giữa nhà máy không kết hợp xả lũ và đập thông thường, tường hướng dòng hoặc đê hướng dòng có chiều dài kể từ cửa ra của ống hút phải đảm bảo điều kiện sau:

$$l_{CT} \geq (1,1 \div 1,15) \frac{21,5 \delta_0}{(4,48 + \theta)^{0,75}} \quad (3-26)$$

Trong đó:  $\theta = \theta_n$  khi  $\theta_n > \theta_B$  và  $d \neq h_T$   
 $\theta = \theta_B$  khi  $\theta_n < \theta_B$  và  $d \geq h_T$   
 $\theta = \theta_n + (\theta_B - \theta_n)(d/h_T)^2$  khi  $\theta_n < \theta_B$  và  $d < h_T$



**Hình 3-8.** Sơ đồ xác định chiều dài tối thiểu tường phân dòng hạ lưu.

*a - nhà máy thủy điện không kết hợp, b - nhà máy kết hợp khi tiêu năng đáy, c - nhà máy kết hợp tiêu năng mặt, TII - Điểm gãy đường mặt nước.*

Chiều dài tường hướng dòng giữa nhà máy thủy điện kết hợp xả lũ và đập thông thường (hình 3-8b) hoặc giữa nhà máy không kết hợp xả lũ và đập tràn xả lũ phải đảm bảo không nhỏ hơn tổng chiều dài phóng xạ và chiều dài đoạn nước nhảy:

$$l_{CT} \geq L + l_n \quad (3-27)$$

Ở chế độ tiêu năng mặt, tường ngăn dòng không được ngắn hơn cách từ mũi phun đến điểm gãy của đường mặt nước (hình 3-8,c)

Khi nối tiếp hạ lưu bằng tia phóng xạ với lưu lượng đơn vị ở hạ lưu đập tràn lớn ( $q \geq 60 \text{ m}^3/\text{s.m.}$  như ở trạm thủy điện

Kracno - Iarsk) dưới dòng tia mực nước giảm thấp đi rất nhiều và do đó nếu nhà máy nối tiếp với đập tràn và giữa nó không có tường ngăn thì hạ lưu công trình sẽ xuất hiện dòng chảy ngang và tạo nên vùng xoáy. Để loại trừ hiện tượng bất lợi này một cách triệt để chỉ có thể bằng cách xây dựng các tường ngăn với chiều dài bằng chiều dài phóng xạ của dòng tia. Để giảm chiều dài tường chắn cần phải tăng khoảng cách giữa tường chắn và khoang biên của tràn.

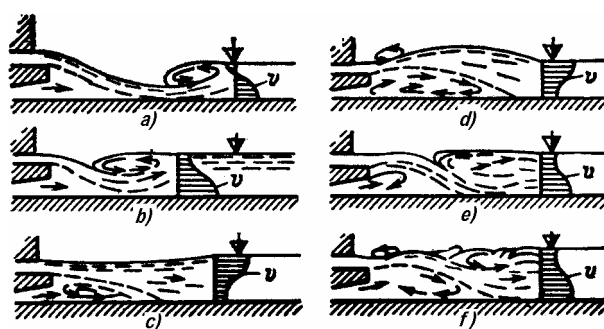
Khi giảm lưu lượng đơn vị, chiều dài cần thiết tối thiểu của tường ngăn ở hạ lưu cũng giảm.

### 3.4. CÁC CHẾ ĐỘ THỦY LỰC HẠ LƯU NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN KẾT HỢP XẢ LŨ

Thông thường cửa xả của các công trình xả lũ nhà máy thủy điện kiểu kết hợp đặt cao hơn miệng ống hút. Khi xả lũ hạ lưu nhà máy xuất hiện dòng chảy xiết. Phụ thuộc vào vị trí của các công trình xả lũ, lưu lượng và độ sâu nước ở hạ lưu mà khi nối tiếp dòng chảy xiết với dòng chảy êm ở hạ lưu có thể xảy ra các trạng thái thủy lực khác nhau.

Trạng thái nối tiếp dòng chảy đáy (hình 3-9, a,b): dòng tia sau khi ra khỏi các công trình xả sâu hoặc ra khỏi mũi tràn sẽ chuyển động tới đáy hạ lưu tạo nên nước nhảy ngập hoặc nước nhảy phóng xa.

Trạng thái nối tiếp dòng chảy mặt (hình 3 - 9 c, d): dòng tia sau khi ra khỏi mũi tràn hoặc cửa ra của các công trình xả lũ dưới sâu được mở rộng dần và tiếp xúc với đáy hạ lưu sau khi mở rộng hoàn toàn. Nếu phía trên dòng phun tạo ra vùng xoáy thì trạng thái chảy này được gọi là trạng thái nối tiếp chảy mặt với chế độ chảy ngập (hình 3 - 9d). Ngược lại,



*Hình 3-9. Các trạng thái nối tiếp hạ lưu nhà máy thủy điện kết hợp xả lũ.*

nếu phía trên dòng tia không xuất hiện vùng xoáy thì chế độ nối tiếp được gọi là nối tiếp chảy mặt không ngập (hình 3 - 9c). Trong một số điều kiện nhất định trạng thái nối tiếp chảy mặt có thể chuyển sang trạng thái vừa chảy mặt vừa chảy đáy. Ở trạng thái này đoạn đầu dòng tia nâng lên sau đó hạ xuống tới đáy như ở chế độ nối tiếp chảy đáy. Cũng tương tự các trạng thái trên nếu ở đoạn đầu phía trên dòng tia không xuất hiện vùng xoáy thì chế độ được coi là ngập, còn nếu xuất hiện cùng xoáy thì chế độ được coi là dòng tia chảy đáy bị ngập (hình 3 - 9 e,f).

Trong tất cả mọi trường hợp kể trên ngay tại cửa ra của nhà máy thủy điện đều xuất hiện vùng xoáy ở dưới đáy và có ảnh hưởng đến chế độ làm việc của nhà máy thủy điện.

Khi nối tiếp dòng chảy đáy chảy ngập (hình 3 - 9b), dòng tia của công trình xả lũ có thể lấn át dòng chảy từ ống hút của trạm thủy điện và do đó dẫn đến làm giảm lưu lượng cũng như công suất của nó. Khi chuyển từ chế độ chảy đáy sang chế độ chảy mặt không ngập (hình 3 - 9e) có khả năng xuất hiện sự dao động mực nước hạ lưu tương đối lớn. Các chế độ nối tiếp kiểu chảy mặt kết hợp chảy đáy ở trên có thể đòi hỏi phải tăng chiều dài phân gia cố hạ lưu, do đó khi thiết kế phải cố gắng tránh các trạng thái nối tiếp này.

Sự biến đổi giữa các trạng thái chảy đáy và chảy mặt xảy ra qua một trạng thái trung gian gọi là trạng thái giới hạn tương ứng với độ sâu nhất định của mực nước hạ lưu gọi là độ sâu phân giới.

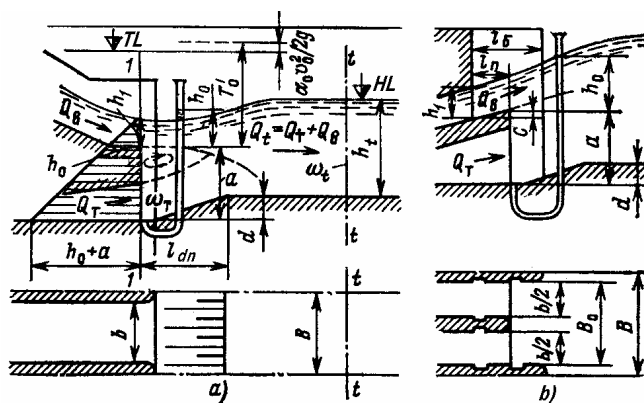
Trạng thái phân giới được đặc trưng bởi các chế độ sau:

- Chế độ nước nhảy ngập: nó xuất hiện khi mực nước hạ lưu ở tiết diện co hẹp trên sân tiêu năng bằng độ sâu liên hiệp được tính theo (3 - 17).

- Trạng thái phân giới thứ nhất: là trạng thái phân cách chế độ chảy đáy ngập và chế độ chảy mặt không ngập. Trạng thái phân giới thứ nhất có hai giới hạn trên và dưới. Giới hạn dưới tương ứng với độ sâu khi đó trạng thái chảy đáy bắt đầu chuyển sang trạng thái chảy mặt, giới hạn trên tương ứng với độ sâu khi chuyển từ chế độ chảy mặt sang chế độ chảy đáy. Trong khoảng hai giới hạn này là trạng thái không ổn định.

- Trạng thái phân giới thứ hai: là trạng thái phân cách giữa các chế độ nối tiếp chảy mặt hoặc chảy mặt kết hợp chảy đáy ngập với chế độ chảy không ngập.

Chế độ nối tiếp thủy lực hạ lưu nhà máy thủy điện kết hợp có thể xác định nếu biết được độ sâu mực nước hạ lưu và độ sâu phân giới của các chế độ tương ứng.



**Hình 3-10.** Sơ đồ xác định độ sâu phân giới hạ lưu

- Trạng thái phân giới thứ ba phân cách hai chế độ nối tiếp chảy mặt và chảy mặt kết hợp chảy đáy không ngập.

Với một trị số lưu lượng qua nhà máy và qua công trình xả lũ, chế độ thủy lực ở hạ lưu phụ thuộc vào độ sâu của dòng tia trên mũi tràn \$h\_1\$, độ sâu mực nước hạ lưu và cột nước đo áp \$h\_0\$ dưới dòng tia tại mũi tràn (hình 3-10).

Độ sâu \$h\_1\$ trên mũi tràn của trạm thủy điện kết hợp được xác

định theo công thức (3-15) hoặc (3-16). Đối với trường hợp công trình xả lũ là công trình xả đáy thì độ sâu \$h\_1\$ ở tiết diện cửa ra bằng chiều cao miệng cửa ra của công trình xả đáy có áp, còn hệ số vận tốc lấy bằng hệ số lưu lượng: \$\varphi = \mu\$.

Cột nước đo áp dưới dòng tia \$h\_{0k}\$ ở các chế độ phân giới được xác định theo các công thức sau:

Nếu nhà máy kết hợp xả lũ thì \$h\_{0k}\$ xác định theo công thức (3-29):

$$h_{0k} = \frac{1}{3} \left( h_1 + \sqrt{\frac{6q^2}{gh_1} + h_1^2} \right) \quad (3-28)$$

$$h_{0k} = 0,58 \cdot \sqrt{2\beta \frac{q^2}{gh_1} + (h_1 - c)^2} \quad (3 - 29)$$

Trong đó:  $\beta = b/B_0$  khi  $l_p > h_1$  ( $l_p$  - chiều dài trụ pin);  $\beta = b/B$  khi  $l_p < h_1$  (trụ pin ngắn);  $q$  - lưu lượng đơn vị của công trình xả lũ.

Độ sâu phân giới là độ sâu của lòng dẫn hạ lưu, khi đó trạng thái nổi tiếp của dòng chảy thay đổi chế độ. Độ sâu này có thể xác định từ phương trình biến thiên động lượng của khối chất lỏng nằm giữa hai mặt cắt 1-1 và t-t (hình 3-10) chiếu lên trục nằm ngang:

$$\rho \left[ \frac{\alpha_1 (Q_x + Q_T)^2}{\omega_T} - \frac{\alpha_T Q_x^2}{\omega_1} - \frac{\alpha_T Q_T^2}{\omega_T} \right] = R_{TP} + R_M + P - R_{dn} = R_t \quad (3 - 30)$$

Trong đó: các chỉ số “1” và “t” tương ứng với c tiết diện 1 - 1 và t - t ở hạ lưu; chỉ số “T” - ứng với tiết diện cửa ra của ống hút;  $Q_x$ ,  $Q_T$  - lưu lượng xả lũ và lưu lượng qua turbine;  $\omega$  - diện tích các tiết diện tương ứng theo chỉ số  $\alpha_t$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_T$  - các hệ số động lượng tương ứng với các tiết diện;  $R_{TP}$ ,  $R_M$ ,  $R_{dn}$ ,  $R_t$ ,  $P$  - là các lực (phản lực) tác động lên khối chất lỏng đang xét từ từ các trụ pin phân cách, từ mũi tràn với chiều cao  $\alpha$ , từ đoạn dốc sửa sâu tiêu năng, áp lực nước hạ lưu, áp lực của dòng tia.

Áp suất trên bề mặt của dòng tia từ công trình xả lũ trong trường hợp không ngập bằng không, còn ở tại đáy xác định bởi áp suất của cột nước đo áp  $h_0$ . Do đó:

Khi  $h_0 > h_1$

$$P = \rho g \cdot 0,5 h_1 h_0 b \quad (3 - 31)$$

Khi  $h_0 < h_1$  áp suất trong dòng tia phân bố theo quy luật parabol và xác định theo công thức sau:

$$P = \rho g (0,3 h_1^2 + 0,2 h_1 h_0) b \quad (3 - 32)$$

Khi  $h_0 < 0$ , để loại bỏ chân không phía dưới dòng tia người ta thường dẫn không khí vào, do đó áp suất dưới dòng tia bằng không và:

$$P = \rho g 0,25 h_1^2 b \quad (3 - 33)$$

Áp suất lên mũi tràn (công trình xả lũ) theo chiều cao phân bố theo quy luật áp suất thủy tĩnh. Do đó

Khi  $h_0 \neq h_1$

$$R_M = \rho g \frac{2h_0 + a}{2} ab \quad (3 - 34)$$

Khi  $h_0 < 0$ , có không khí được dẫn vào dưới dòng tia:

$$R_M = \left[ \frac{2h_0 + a}{2} \right]^2 \quad (3 - 35)$$

Áp lực từ phía trụ pin phân cách phân bố theo quy luật áp suất thủy tĩnh theo độ sâu:

$$P_{TP} = \rho g \frac{(a + h_0)^2}{2} (B - b) \quad (3 - 36)$$

Áp lực từ phía đoạn dốc sân tiêu năng phụ thuộc vào vị trí điểm rơi của dòng tia qua công trình xả lũ:

Khi  $L > l_{nd}$

$$R_{nd} = \rho g \frac{2a + 2h_0 - d}{2} dB \quad (3 - 37)$$

Khi  $L < l_{nd}$

$$R_{nd} = \rho g \frac{a + h_0 + h_t}{2} dB \quad (3 - 38)$$

Trong đó:  $L$  - chiều dài phóng xạ của dòng tia xác định theo các công thức (3 - 53) và (3 - 55) hình 3 - 15;  $l_{nd}$  - khoảng cách từ mũi tràn đến cuối đoạn dốc nghiêng của sân tiêu năng, tức là đầu đoạn nằm ngang. Ở các chế độ nối tiếp bằng dòng chảy mặt điểm rơi của dòng tia xả lũ thường nằm trên đoạn dốc nghiêng của sân tiêu năng.

Áp lực nước hạ lưu ở tiết diện  $t - t$  xác định theo công thức:

$$R_t = \rho g \frac{h_t^2}{2} B \quad (3 - 39)$$

Thay vào (3 - 30) các đại lượng xác định lực và phản lực và biểu diễn qua các đại lượng:

$$A = \frac{2}{gB} \left[ \frac{\alpha_1 Q_x^2}{\omega_1} + \frac{\alpha_T Q_T^2}{\omega_T} - \frac{\alpha_t (Q_x + Q_T)^2}{\omega_t} \right] \quad (3 - 40)$$

Trong đó:  $\omega_1 = h_1 b$ ;  $\omega_T$  - diện tích tiết diện cửa ra của ống hút;  $\omega_t = h_t B$ . ta có thể xác định được độ sâu hạ lưu tương ứng với các trạng thái phân giới được viết dưới dạng trong bảng 3 - 3.

Khi biết được mực nước hạ lưu tương ứng với các trạng thái phân giới và trạng thái không ổn định ở bảng 3 - 3, có thể điều chỉnh cao độ đáy sân tiêu năng sao cho trong lòng dẫn hạ lưu không xuất hiện các trạng thái không ổn định và hạn chế tới mức tối đa trạng thái chảy mặt kết hợp chảy đáy. làm như vậy tất nhiên là xét về cột nước phục hồi không phải là tối ưu, tức là sẽ làm giảm năng lượng phát điện.

**Bảng 3-3.** Các công thức xác định độ sâu phân giới ở hạ lưu trạm thủy điện có kết hợp xả lũ

| Trạng thái thủy lực | $\beta = b/B$   | Công thức xác định độ sâu phân giới $h_{t,k}$ | Độ sâu hạ lưu $h_t$           |
|---------------------|-----------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|
| Trạng thái          | Với mọi $\beta$ | Nhà máy thủy điện kết hợp                     | Khi $h_c'' \leq 0,93 h_{tk1}$ |



|                       |                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                 |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| thứ nhất              | nhưng nếu<br>$\beta < 0,7$ thì<br>$b > 4(h_{0K} - h_1)$ | tràn xả lũ và nhà máy với<br>công trình xả lũ có áp<br>$h_{tK1} = \frac{1}{3}(2h_1 + a - d - h_{0K} + (3 - 41) + 2\sqrt{(2h_1 + a - d - h_{0K})^2 + 3A})$                                                                                                           | - trạng thái chảy<br>đáy ổn định.<br>Khi $0,93 h_{tk1} < h_t < 1,07 h_{tk1}$ - trạng thái<br>không ổn định                                                      |
| Trạng thái<br>thứ hai | $\beta \geq 0,7$                                        | Nhà máy với tràn xả lũ:<br>$h_{tK2} = \sqrt{(a - d)^2 + 2(a - d)h_{0K} + \beta h_1 h_{0K} + (1 - \beta)h_{0K}^2 A} \quad (3 - 42)$<br>nhà máy với tràn xả lũ:<br>$h_{tK2} = \sqrt{(a - d)^2 + 2(a - d)h_{0K} + \beta h_1^2 + (1 - \beta)h_{0K}^2 A} \quad (3 - 43)$ | Khi $0,17 h_{tk1} h_t \leq 1,07 h_{tk2}$ - trạng thái<br>chảy mặt không<br>ngập ổn định<br>Khi $h_t \geq 1,05 h_{tk2}$ -<br>trạng thái chảy mặt<br>ngập ổn định |
|                       | $\beta < 0,7$                                           | $H_{tk2} = a - d + h_{0K} \quad (3 - 44)$                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                 |
| Trạng thái<br>thứ ba  | $\beta \geq 0,75$                                       | $h_{tk3} = a - d + h_1 + h_{0K} \quad (3 - 45)$                                                                                                                                                                                                                     | Chế độ chuyển tiếp<br>chảy mặt kết hợp<br>đáy không thể xuất<br>hiện trong điều<br>kiện khi $h_{tk2} < 0,98 h_{tk3}$                                            |

Ghi chú: A - được tính theo công thức (3 - 40), trong đó  $\alpha_1 = 1,0$ ;  $\alpha_T = 1,35 - 1,4$ ;  $\omega_1 = h_1 b$ ;  $\omega_t = h_t B$ ; khi tính  $\omega_t$  cần phải sử dụng  $h_t$  đối với trạng thái giới hạn thứ nhất:  $h_t = a - d + h_{0K}$ ;  $h_{0K}$  xác định theo các biểu thức (3 - 28) hoặc (3 - 29);  $\beta = b/B$ ; a, d, b, B,  $h_1$ ,  $h_t$  thể hiện trên hình 3 - 10.

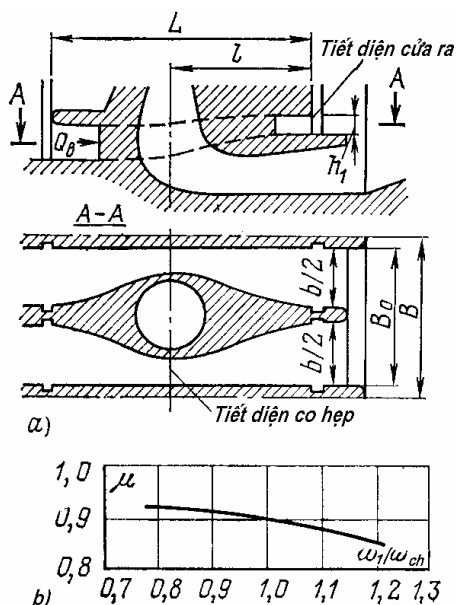
### 3.5. TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG THÁO NƯỚC CỦA CÔNG TRÌNH XẢ LŨ CÓ ÁP CỦA NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN KẾT HỢP

Khả năng tháo nước của các công trình xả lũ có áp trạm thủy điện kết hợp phụ thuộc vào diện tích tiết diện cửa ra của chúng. Đường hầm xả nước có áp phải đi vòng qua đoạn cống của ống hút và ra khỏi tổ máy phía trên ống hút do đó về mặt thủy lực mà nói là không thuận lợi lắm. Do đó để tránh dòng chảy bị gián đoạn và các hiện tượng mạch động áp lực quá lớn hoặc các hiện tượng không có lợi khác, công trình xả lũ có áp có tiết diện thu hẹp dần hoặc tiết diện không thay đổi (hình 3 - 11). Ở các trạm thủy điện cột nước thấp ( $H \leq 15m$ ) với các công trình đường hầm xả lũ có áp dưới buồng xoắn trong một số trường hợp có thể cho phép co hẹp tiết diện một ít trong khoảng  $\omega_1/\omega_v = 1,1 - 1,2$  ( $\omega_v$  - diện tích tiết diện cửa vào).

Lưu lượng các công trình xả lũ có áp xác định theo công thức:

$$Q_x = \mu \omega_1 \sqrt{2gH} \quad (3 - 46)$$

Trong đó:  $H$  - cột nước tác dụng;  $\mu$  - hệ số lưu lượng, sơ bộ có thể xác định theo đồ thị hình 3 - 11b.



**Hình 3-11.** Sơ đồ bố trí công trình xả lũ có áp và đồ thị xác định hệ số lưu lượng của chúng (b)

Khi phía sau cửa ra đường hầm xả lũ có sàn (hình 3 - 120, áp suất tại tiết diện cửa ra có thể xem là phân bố theo quy luật áp suất thủy tĩnh và do đó khi chảy tự do hoặc khi chảy không ngập (hình 3 - 12 a,b) cột nước  $H$  có thể xác định theo công thức:

$$H = H' + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} \quad (3 - 47)$$

Khi miệng công trình xả nước bị ngập cũng như khi xả lưu lượng chỉ qua các tổ máy thủy điện, hạ lưu nhà máy sẽ xuất hiện cột nước phục hồi  $\Delta h_0$  và khi đó cột nước tác dụng của công trình xả lũ (hình 3 - 12c) xác định theo công thức:

$$H = H_{CT} + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} + \Delta h_0 \quad (3 - 48)$$

Hiện tượng ngập miệng công trình xả lũ sẽ xuất hiện khi chiều sâu hạ lưu ở sân thứ hai lớn hơn  $h_{tk2}$ .

Cột nước phục hồi  $\Delta h_0$  khi cửa ra công trình xả lũ bị ngập khi tính gần đúng với độ chính xác có thể chấp nhận được có thể xác định từ phương trình Becnuly viết cho tiết diện 1 - 1 và t - t (hình 3 - 12c).

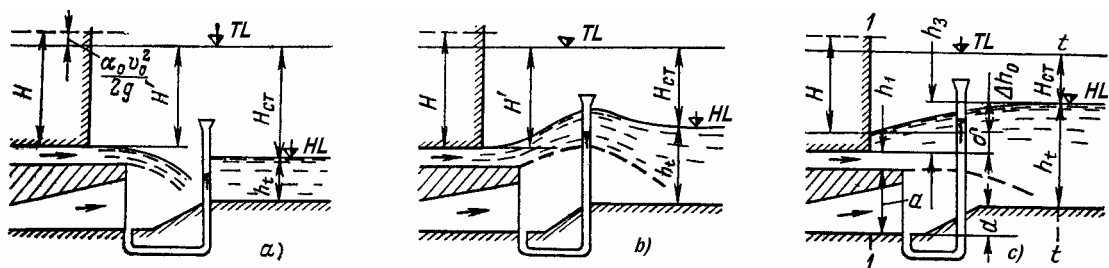
$$Z_{HL} - \Delta h_0 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = Z_{HL} + \frac{\alpha_t v_t^2}{2g} + h_w \quad (3 - 49)$$

Nếu bỏ qua tổn thất ma sát dọc đường, có nghĩa là tổn thất  $h_w$  được coi như tổn thất mở rộng đột ngột (theo Borda) khi  $\alpha_1 = \alpha_t = 1$ , từ 3 - 49 có thể xác định:

$$\Delta h_0 = \frac{v_1^2 - v_t^2}{2g} - \frac{(v_1 - v_t)^2}{2g} = \frac{v_t(v_1 - v_t)}{g} \quad (3 - 50)$$

Từ (3 - 50) và (3 - 46) khi vận tốc được biểu diễn qua lưu lượng và diện tích tiết diện, cuối cùng có thể xác định cột nước phục hồi:

$$\Delta h_0 = \frac{2\mu\omega_1}{\omega_t} \left( 1 - \frac{\omega_1}{\omega_t} \right) H \quad (3 - 51)$$



**Hình 3-12.** Các đặc tính của dòng chảy ra khỏi CT xả lũ có áp

Do khi các cửa xả bị ngập, trị số  $\Delta h_0$  và  $H$  liên quan với nhau nên việc xác định cột nước  $H$  phải tiến hành bằng cách thử dần bắt đầu từ  $\Delta h_0 = 0$ .

Các bước tiến hành tính toán thủy lực công trình xả lũ của trạm thủy điện kết hợp như sau:

1. Theo độ ngập sâu của tràn công xả xác định trạng thái của dòng chảy từ cửa ra cửa công (hình 1- 12). Khi nước chảy ra tự do thì theo các công thức (3 - 46), (3 - 47) xác định  $Q_x$  và  $H$

2. Nếu tràn công xả ngập dưới mực nước hạ lưu thì xác định độ sâu phân giới  $H_{tk2}$  (theo bảng 3 -3) và so sánh với độ sâu nước hạ lưu  $h_t$ . Nếu  $h_t$ ,  $h_{tk2}$  thì cửa ra công không ngập (hình 3 -12,b) và theo (3 - 46), (3 - 47) xác định  $Q_x$  và  $H$ . Nếu  $h_t \geq h_{tk2}$  thì miệng công bị ngập thì theo (3 - 48) và (3 - 51) bằng cách thử dần tính theo  $\Delta h_0$  và  $H$  sau đó theo (3 - 46) xác định  $Q_x$ .

### 3.6. HIỆN TƯỢNG PHUN XIẾT Ở CÁC TRẠM THỦY ĐIỆN KẾT HỢP XẢ LŨ

Mực nước hạ lưu ở các trạm thủy điện kiểu lòng sông vào thời gian xả lũ rất cao do đó làm giảm cột nước và công suất của turbin. Có thể thu hồi một phần cột nước và công suất phát điện do hiệu quả của phun siết dựa trên kết quả của việc tác dụng tương hỗ của lưu lượng qua turbin và lưu lượng xả lũ. Hiện tượng phun xiết có thể xảy ra ở hạ lưu hoặc trong ống hút của turbin. Hiện tượng phun xiết ở hạ lưu được ứng dụng phổ biến, còn phun xiết trong ống hút ít khi được ứng dụng.

Tính toán hiệu quả của phun xiết bao gồm xác định độ chênh áp suất ở cửa ra của ống hút so với áp lực nước hạ lưu sân tiêu năng thứ hai, có nghĩa là xác định độ chênh cột nước của turbin. Cột nước tăng do hiệu quả của phun xiết sẽ dẫn đến tăng lưu lượng và công suất của turbin.

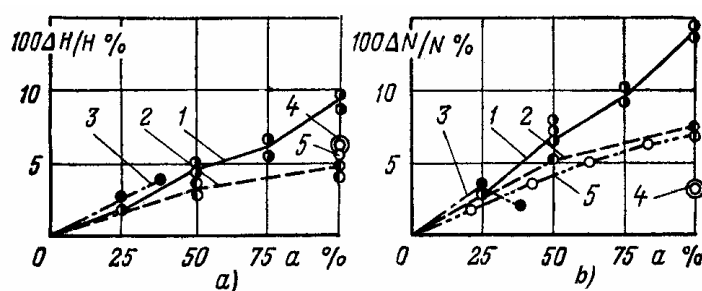
Ở các trạm thủy điện kết hợp xả đáy và ở các trạm thủy điện với turbin chảy thẳng kết hợp tràn cột nước thấp khi turbin và công trình xả lũ đồng thời làm việc thì tổn thất cột nước trong cửa lấy nước tăng lên do đó trong thực tế hiệu quả của phun xiết sẽ giảm đi một đại lượng tương ứng với tổn thất tăng thêm ở cửa lấy nước. Tổn thất này có thể xác định trên cơ sở thực nghiệm. Nếu như việc tính toán sử dụng hiệu quả phun xiết không thành công, khi đó tổn thất tăng thêm ở cửa lấy

nước vượt quá hiệu quả ở cửa phun xiết về mặt cột nước sẽ dẫn đến làm giảm công suất turbin khi công trình xả lũ làm việc.

Khi xác định được độ chính xác cột nước kết quả của phun xiết  $\Delta H$ , lưu lượng tăng thêm của turbin thay đổi là  $\Delta \eta$  thì hiệu quả của phun xiết xét về công suất sẽ là:

$$\Delta N = 9,81.(Q + \Delta Q)(H + \Delta H)(\eta + \Delta \eta) - 9,81.QH\eta \quad (3 - 52)$$

Hiệu quả của phun xiết phụ thuộc vào lưu lượng của công trình xả lũ, khi tăng lưu lượng xả lũ hiệu quả phun xiết sẽ tăng thêm (hình 3 -13)



**Hình 3-13.** Sự phụ thuộc của hiệu quả phun xiết vào độ mở của công xả  $Q_b$  (theo kết quả thí nghiệm)

Kết quả thực tiễn ở các công trình thủy điện nước ngoài cho thấy hiệu quả phun xiết đạt được từ 4 - 10% về cột nước và 2,5 đến 14,5% về công suất. Một điểm cần lưu ý là hiệu quả phun xiết chỉ là nguồn năng lượng bổ sung trong thời gian xả lũ, nó không kéo dài trong suốt thời gian vận hành

Hiệu quả phun xiết về cột nước được thể hiện trên sơ đồ hình 3 - 14, phương pháp tính toán hiệu quả phun xiết ở hạ lưu trạm thủy điện cũng tương tự như khi xác định độ sâu phân giới trên cơ sở sử dụng phương trình biến thiên động lượng (3 -30) đối với khối chất lỏng nằm giữa cửa ra của ống hút và thiết diện trên sân sau ở hạ lưu nơi mà sự phân bố lưu tốc có thể xem là đều.

Phản lực của đoạn dốc sâu tiềm năng  $R_{dn}$  phụ thuộc vào điểm rơi của dòng tia xả lũ và xác định theo các công thức (3-37) và (3 - 38). Do đó đối với chế độ nổi tiếp chảy đáy cần phải phân biệt các trường hợp dòng tia rơi trên đoạn dốc của sân tiêu năng hoặc sau đoạn dốc đó.

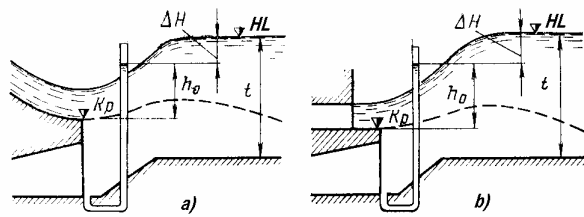
Để xác định điểm rơi trên sân tiêu năng của dòng tia (hình 3 -15) có thể sử dụng công thức tính khoảng cách hay xa của chất điểm:

$$L = v\sqrt{2yg} \quad (3 - 53)$$

Trong đó  $y$  - chiều cao của mũi tràn so với sân tiêu năng,  $v_1$  - vận tốc của dòng tia không ngập được tính theo công thức:

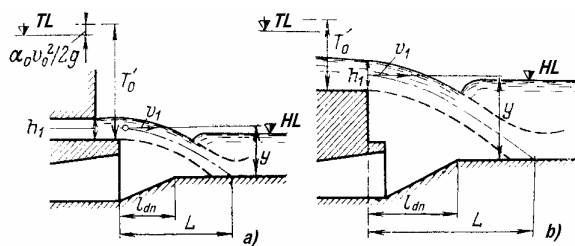
$$v_1 = \varphi\sqrt{2g(T_0' - 0,5h_1)} \quad (3 - 54)$$

Đối với trạm thủy điện kết hợp tràn xả lũ đỉnh rộng (hình 3-15, b) khi  $h_1 = 0,47 \cdot T_0'$ ,  $v_1 = q/h_1$ , biểu thức (3-53) có dạng:



**Hình 1-14.** Sơ đồ xác định hiệu quả phun xiết về cột nước

a - phun xiết do tràn; b - phun xiết do xả lũ có áp



**Hình 1-15.** Sơ đồ xác định điểm rơi của dòng tia trên sân tiêu năng

a - phun xiết do xả lũ có áp; b - phun xiết do tràn xả lũ

$$L = 4,26 \cdot m \cdot \sqrt{T_0' \cdot y} \quad (3-55)$$

Khi nối tiếp hạ lưu bằng dòng chảy đáy nối với các phương án kết hợp xả tràn lũ hoặc xả lũ đáy có áp để xác định cột nước đo áp ở cửa ra ống hút đều sử dụng các công thức như nhau.

Khi trạng thái nối tiếp là dòng chảy mặt không ngập, dòng tia thường rơi ngoài đoạn dốc của sân tiêu năng, do đó các công thức tính toán để xác định  $h_0$  để cho các phương án phun xiết là khác nhau.

Khi phun xiết nơi đập tràn đối với trạng thái nối tiếp chảy mặt ngập bằng lý thuyết không có được công thức xác định  $h_0$ . Vì vậy ở các chế độ đó việc xác định  $h_0$  có thể sử dụng các công thức trong bảng 3 - 4

Đối với trường hợp phun xiết bởi cống xả có áp miệng ngập ( hình 3-12,c ) được phân thành hai trường hợp:

- Khi miệng cống xả ngập không sâu:

$$h_{ngập} \leq 3(h_{0k} - h_1)$$

- Khi miệng cống xả ngập sâu

$$h_{ngập} = > 3(h_{0k} - h_1)$$

Trong các công thức trên  $h_{0k}$  xác định theo (3-29).

**Bảng 3 - 4.** Các công thức xác định cột nước đo áp  $h_0$  ở cửa ra ống hút khi tính toán phun xiết

| Trạng thái hạ lưu                      | Công thức xác định $h_0$                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Độ sâu hạ lưu $h_t$               |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Nối tiếp chảy đáy                      | <p>Phun xiết do kết hợp tràn xả lũ và xả lũ có áp</p> <p>a- Khi dòng tia rời đoạn dốc sâu tiêu năng</p> $h_0 = - (a - d) + \sqrt{h_t^2 - 0,5\beta h_1^2 - A} \quad (3 - 56)$ <p>b- khi dòng tia rời trên đoạn dốc</p> $h_0 = \frac{d}{2} - a + \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + h_1 d + h_t^2 - 0,5\beta h_1^2 - A} \quad (3 - 57)$ | $h_c'' \leq h_t \leq 0,93h_{tk1}$ |
| Nối tiếp chảy mặt nước nhảy không ngập | <p>Phun xiết do tràn:</p> $h_0 = \frac{-(a - d + 0,5\beta h_1) + \sqrt{(a - d + 0,5\beta h_1)^2 - (1 - \beta)(a - d)^2 - h_t^2 + A}}{1 - \beta} \quad (3-58)$ <p>Phun xiết do cống có áp</p> $h_0 = -(2a - d) + \sqrt{(2a - d)^2 - 4(1 + \beta_0)[a^2 - (a - d)d - dh_t - h_t^2 + \beta(h_1 + c) + A]} \quad (3-59)$                  |                                   |
| Nối tiếp chảy mặt nước nhảy ngập       | <p>Phun xiết do tràn</p> $h_0 = \frac{h_t^2 - (a - d)^2 - A}{2(a - d) + h_1} \quad (3 - 60)$ <p>Khi <math>Z_{HL} - Z_{mũi} \leq 0,8\sqrt[3]{q^2}</math> (q- lưu lượng đơn vị trên mũi tràn)</p>                                                                                                                                       |                                   |
| Cửa cống ngập sâu                      | $h_0 = \frac{-(2a - d) + \sqrt{4[dh_t + h_t^2 - A] - 3d^2}}{2} \quad (3 - 61)$                                                                                                                                                                                                                                                        |                                   |
| Cửa cống ngập không sâu                | $h_0 = \frac{-(2a - d) + \sqrt{(2a - d)^2 - 4(1 - \beta)[a^2 - (a - d)d - dh_t - h_t^2 + \beta_0(h_1 + \delta) + A]}}{2(1 - \beta_0)} \quad (3 - 62)$ <p>Trong đó: <math>\delta = h_{ngập} - \Delta h_0</math> tính theo (3 - 48) và (3 - 51)</p>                                                                                     |                                   |

Khi miệng cống ngập sâu, cột nước đo áp ở cửa ra ống hút  $h_0 > h_1 + \delta$  và  $h_0 = f(\delta)$ .

Khi miệng cống ngập sâu dưới mực nước hạ lưu  $h_0 = h_1 + \delta$ , có nghĩa là cột nước đo áp xác định bằng mực nước ở cửa ra cống xả và hiệu quả phun xiết về cột nước  $\Delta H$  bằng cột nước phụ hồi  $\Delta h_0$ . Cột nước phụ hồi có thể xác định bằng cách thử dần theo các biểu thức (3-48) và (3-51); theo các công thức (3-61) bảng 3-4

Xác định cột nước đo áp và sau đó là xác định hiệu quả phun xiết về cột nước (hình 3 -14).

Các công thức để xác định cột nước đo áp  $h_0$  được trình bày trong bảng 3-4

### ***Câu hỏi chương 3***

1. Nguyên lý chung về nối tiếp các bộ phận dẫn dòng thượng lưu nhà máy.
2. Nguyên lý chung về nối tiếp các bộ phận dẫn dòng thượng lưu nhà máy.
3. Khái niệm về độ sâu phục hồi và gia cố hạ lưu nhà máy thủy điện. Công thức xác định cao trình sân sau nhà máy thủy điện

## Chương IV

### TÍNH TOÁN ỔN ĐỊNH VÀ ĐỘ BỀN CỦA

#### NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN

Nhà máy thủy điện là một kết cấu hình khối lớn, hình dạng khá phức tạp với nhiều khoảng trống bên trong. Toàn bộ nhà máy nói chung và từng phần nói riêng phải đảm bảo đủ ổn định và đủ độ bền dưới tác động của mọi tổ hợp tải trọng tĩnh và tải trọng động trong các giai đoạn xây dựng, vận hành, sửa chữa.

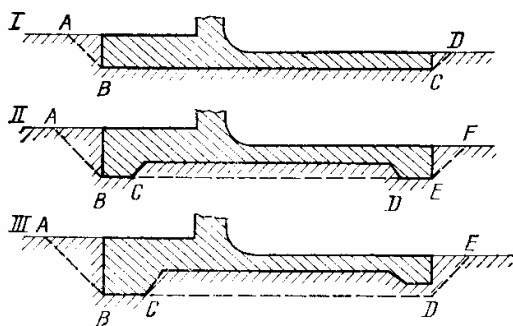
Các sơ đồ tính toán ổn định và độ bền của nhà máy phải phản ánh hợp lý các giai đoạn xây dựng nhà máy và phải xét đến trạng thái ứng suất thay đổi khi nhà máy bị lún.

#### 4.1. TÍNH TOÁN ỔN ĐỊNH CHỐNG TRƯỢT NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN

Sau khi đã chọn xong kết cấu nhà máy, việc đầu tiên là phải tính toán ổn định chống trượt. Khi tính toán ổn định chống trượt nên tính cho một khối tổ máy nhưng cũng có thể tính cho 1 m. Chỉ cần tính toán ổn định chống trượt cho các nhà máy thủy điện chịu áp lực, tức là các nhà máy thủy điện ngang đập. Các nhà máy thủy điện sau đập và đường dẫn không chịu áp lực nằm ngang của nước từ thượng lưu và các lực nằm ngang khác nên không cần tính toán ổn định chống trượt. Chỉ kiểm tra ổn định chống trượt cho nhà máy thủy điện sau đập và đường dẫn khi giữa nhà máy và đập có khe co lún hoặc khi có đồ đất phía thượng lưu nhà máy hoặc hai bên hông nhà máy.

Ý nghĩa quyết định trong tính toán ổn định chống trượt là việc chọn đúng các tổ hợp tải trọng cho các trường hợp tính toán khác nhau

Sự ổn định của nhà máy chủ yếu phụ thuộc vào áp lực chủ động nằm ngang, trọng lượng bê tông và nước, áp lực đẩy nổi và thấm cũng như hệ số ma sát theo mặt trượt.



**Hình 4-1.** Các mặt trượt tính toán cho sơ đồ trượt phẳng ABCD, ABCDEF, ABCDE

Ngoài những yếu tố trên còn có thể có tác động của lực dính của đất, phản lực đất, lực tì vào sân tiêu năng hay đá và kháng của néo.

Phương pháp tính toán ổn định nhà máy là dựa vào lý thuyết cơ học đất - nền móng. Phương pháp này đơn giản song phản ánh tương đối đầy đủ quá trình làm việc của công trình chịu tải trọng nằm ngang.

Các công trình bê tông tính chống trượt theo mặt tiếp xúc của tấm đáy với nền - sơ đồ trượt phẳng và chỉ tính theo sơ đồ trượt sâu cùng với lớp đất bị ép phi khi tấm đáy nhà máy không chôn sâu và chiều rộng tấm



đáy theo phương trượt nhỏ. Nhà máy thủy điện thường có chiều rộng tấm đáy lớn theo phương trượt và đặt sâu nên thường được tính ổn định theo sơ đồ trượt phẳng.

Trong sơ đồ trượt phẳng, mặt trượt tính toán là mặt nằm ngang ở cao trình chôn sâu nhất của tấm đáy (hình 4-1). Khi tính toán phải kể đến trọng lượng đất nằm trên mặt trượt. Trường hợp nền có những lớp đất yếu nằm dưới tấm đáy thì phải kiểm tra ổn định theo mặt phẳng trùng với mặt của lớp đất đó, vì ở đó khả năng bị trượt rất lớn.

Thường người ta tính toán ổn định cho các trường hợp sau đây:

#### 1- Vận hành bình thường:

Mức nước thượng lưu là MNDBT, mức nước hạ lưu nhà máy ứng với lưu lượng vận hành một tổ máy. Lực tác dụng thẳng đứng gồm có: Trọng lượng kết cấu bê tông nhà máy ; trọng lượng nước của các bộ phận qua nước (buồng xoắn, ống hút, ống dẫn nước) ; trọng lượng các thiết bị chủ yếu (tua bin, máy phát) ; áp lực thẩm thấu nổi. áp lực nằm ngang gồm có: áp lực nước thượng hạ lưu nhà máy ; áp lực đất chủ động thượng hạ lưu.

#### 2- Sửa chữa:

Thượng hạ lưu nhà máy có áp lực nước ; thiết bị dỡ đem đi sửa chữa ; phần qua nước bơm cạn ; các tải trọng khác giống trường hợp 1.

#### 3- Xả lũ đặc biệt:

Thượng lưu MNDBT , hạ lưu mức nước cao nhất.

Trong các trường hợp trên trường hợp thứ hai là bất lợi nhất khi tính toán ổn định chống trượt.

Trước khi tính toán ổn định phải chọn sơ đồ tính toán. Phần lớn nhà máy thủy điện có thể tính ổn định theo sơ đồ trượt phẳng, nhưng cũng có trường hợp tính theo sơ đồ trượt sâu. Có thể dựa vào tiêu chuẩn về chỉ số mô hình dưới đây để chọn sơ đồ tính theo mặt trượt phẳng:

$$N = \frac{\sigma_{\max}}{B\gamma} \leq K$$

Trong đó :

$\sigma_{\max}$ - ứng suất pháp lớn nhất trên đất nền (T/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  - Trọng lượng riêng của đất (T/m<sup>3</sup>)

B - chiều rộng tính toán của nhà máy theo chiều dòng chảy (m).

K- trị số không thứ nguyên phụ thuộc vào góc ma sát trong  $\varphi$  và lực dính của đất C. Đối với công trình cấp I, K xác định theo kết quả thí nghiệm mô hình, còn đối với công trình cấp II, III, IV đất nền là đất có thể lấy  $K=3$ , còn nền cát thì  $K=1$ .

Đối với nhà máy thủy điện thông thường chỉ số mô hình  $\frac{\sigma_{\max}}{B\gamma} \leq 3$  nên phần lớn chỉ kiểm tra theo sơ đồ trượt phẳng.

Như ở trên đã nói, trường hợp nguy hiểm nhất cho ổn định chống trượt của nhà máy thường là trường hợp sửa chữa.

Theo trạng thái giới hạn, ổn định chống trượt của nhà máy thủy điện tính theo điều kiện:  $N < \Phi$

$N$  : hợp lực của tất cả các tải trọng tính toán trên nền trong tổ hợp bất lợi nhất.

$\Phi$ : khả năng chịu lực của nền.

Với sơ đồ trượt phẳng các lực  $N$  và  $\Phi$  tính theo các công thức dưới đây:

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= m_{kc} \cdot m_p \cdot [(P - U) \operatorname{tg} \varphi + E_{nH} + B_n l C] \\ N &= (T_B + E_{aB}) - (T_H + E_{aH}) \end{aligned} \right\} \quad (4-1)$$

Khi mặt trượt nghiêng về phía thượng lưu một góc  $\beta$  (không cho phép nghiêng về phía hạ lưu) thì :

$$\left. \begin{aligned} \Phi &= m_{kc} \cdot m_p \cdot \left\{ [P \cos \beta + (T_B + E_{aB} - T_H - E_{aH}) \sin \beta - U] \operatorname{tg} \varphi + E_{nH} \cos \beta + \frac{B l}{\cos \beta} C \right\} \\ N &= \cos \beta \cdot [(T_B + E_{aB}) - (T_H + E_{aH} + P \operatorname{tg} \beta)] \end{aligned} \right\} \quad (4-1')$$

ở đây :

$P = \Sigma G$  - tổng hợp các tải trọng thẳng đứng

$m_{kc}$  - hệ số điều kiện làm việc phụ thuộc vào cấp công trình khi tính dựa theo quy phạm

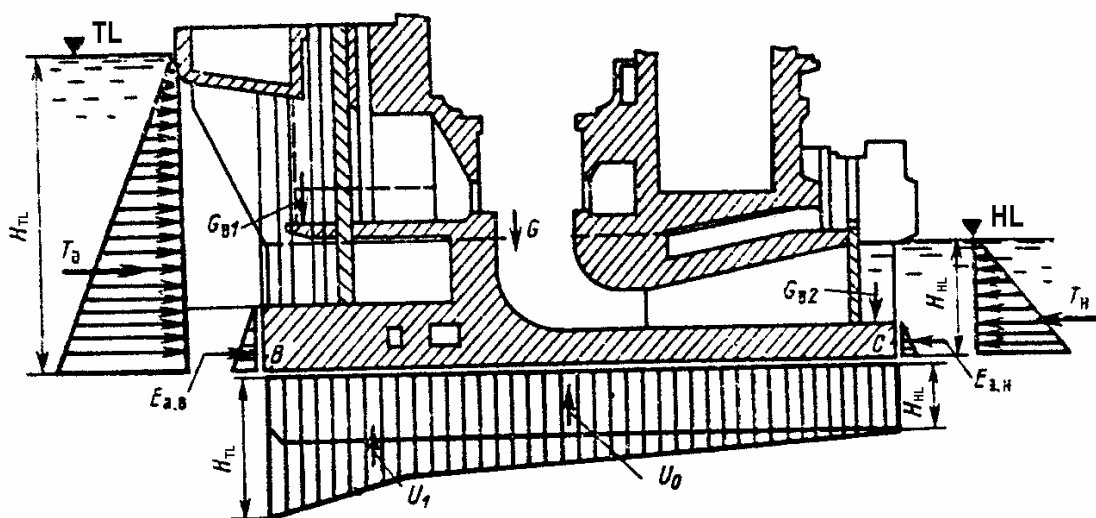
$m_p$  - hệ số điều kiện làm việc xét đến mức độ chuẩn xác của phương pháp tính lấy theo quy phạm.

$\operatorname{tg} \varphi = f$  : hệ số ma sát giữa bê tông với nền hoặc giữa đất với nền tùy theo mặt trượt.

$C$  - lực dính đơn vị của đất.

$B_n$  - hình chiếu của chiều rộng tấm đáy trên mặt nằm ngang.

$l$  - chiều dài công trình ngang chiều dòng chảy, trong tính toán ổn định nhà máy thủy điện  $l$  thường lấy 1 m dài hoặc chiều dài một đoạn tổ máy.



**Hình 4-2.** Sơ đồ các lực tác dụng lên nhà máy thủy điện lòng sông trong tính toán ổn định chống trượt cho trường hợp sửa chữa

$T_B, T_H$ : áp lực nước thượng lưu và hạ lưu nhà máy

$\Sigma G$ : trọng lượng bản thân nhà máy, trọng lượng thiết bị và trọng lượng nước.

$u_0$ : áp lực đẩy nổi.

$u_1$ : áp lực thấm.

$E_{aB}, E_{aH}$ : áp lực chủ động của đất (nếu móng chôn sâu)

$E_{nH}$ : phản lực đất hạ lưu.

Các kí hiệu khác thể hiện trên hình 4-2.

Trong tính toán thường giảm trị số  $E_{nH}$  xuống bằng cách nhân với hệ số:

$$\frac{1}{\text{tg}^2(45^\circ + \varphi/2)}$$

## 4.2. ỨNG SUẤT DƯỚI BẢN ĐÁY NHÀ MÁY

Các lực chủ động tác động lên nhà máy gây ra phản lực ứng suất pháp và ứng suất tiếp trong đất nền nằm dưới tấm đáy. Phản lực nền xác định từ điều kiện cân bằng của công trình. Biểu đồ phản lực nền cần để tính độ lún, độ bền, biến vị ngang của nhà máy và để đánh giá trạng thái giới hạn của nền.

Biểu đồ phản lực nền có thể xác định theo giả thiết nền là một môi trường biến dạng tuyến tính hoặc theo phương pháp hệ số nền.

Trong sơ đồ tính toán nền với trị số phản lực nhất định, tỷ số độ cứng của tấm đáy và nền có một ý nghĩa quan trọng. Biến dạng của bản thân tấm đáy có thể có ảnh

hưởng nhiều hay ít đến tính chất của biểu đồ phản lực nền tùy theo tỷ số giữa độ cứng của tấm đáy và nền.

Người ta phân biệt hai loại: công trình tuyệt đối cứng (biến dạng của công trình không ảnh hưởng đến sự phân bố phản lực nền) và công trình có độ cứng hữu hạn (biến dạng công trình có ảnh hưởng đến sự phân bố phản lực nền).

Độ cứng của nhà máy có thể xác định theo tiêu chuẩn Gorlunốp - Paxadóp.

$$t = \frac{(1 - \mu_1^2)}{(1 - \mu_0^2)} \cdot \frac{\pi \cdot E_o \cdot b \cdot l^3}{4 \cdot E_1 \cdot J} \approx \frac{10 \cdot E_o \cdot l^3}{E_1 \cdot h^3} \quad (4-2)$$

hoặc theo chiều dài quy đổi  $\lambda = l/L$

Trong đó :

$\mu_1, E_1$ : hệ số poat xông và môduyn đàn hồi của vật liệu làm công trình.

$\mu_0, E_0$ : hệ số poat xông và môduyn đàn hồi của nền đất.

$l, h, b$ : chiều dài, cao và rộng của dầm (đối với bài toán phẳng  $b = 1m$ )

$J$ : mô men quán tính.

$L$ : đặc trưng đàn hồi của dầm.

$$L = \sqrt[3]{\frac{2 E_1 J (1 - \mu_0^2)}{b E_o (1 - \mu_1^2)}} \approx h \sqrt[3]{\frac{E_1}{b_o E_o}} \quad (4-3)$$

với  $t < 1$  hoặc  $\lambda < 1,72$  biến dạng của dầm hoặc công trình thực tế không ảnh hưởng đến tính chất phân bố phản lực nền và có thể coi như tuyệt đối cứng. Phần lớn các nhà máy thủy điện lòng sông hoặc các phân đoạn có 2 tổ máy trở xuống có chiều rộng và chiều cao lớn (tỷ số kích thước mặt bằng thường gần bằng 1) và độ cứng khá lớn nên thường có thể coi là một kết cấu tuyệt đối cứng.

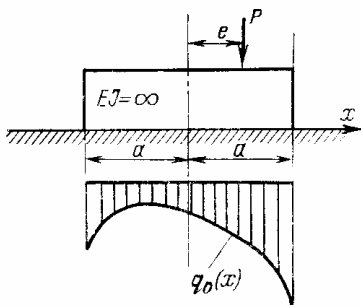
Theo phương pháp hệ số nền, nếu hệ số nền  $k_0 = \text{const}$  và tính chất của đất nền trong phạm vi công trình không thay đổi, biểu đồ phản lực nền dưới công trình tuyệt đối cứng phân bố theo đường thẳng và xác định theo công thức nén lệch tâm:

$$\sigma(x, y) = k_o \omega = -\frac{P}{F} \pm \frac{My}{J_y} x \pm \frac{Mx}{J_x} y \quad (4-4)$$

$\omega$ : độ lún.

Nếu hệ số nền và tính chất nền thay đổi thì biểu đồ phản lực nền phân bố theo đường cong.

Theo mô hình biến dạng tuyến tính đối với nền đồng chất phản lực nền phân bố theo đường cong và ứng suất tăng lên ở hai mép công trình tuyệt đối cứng. Nếu bỏ qua lực ma sát theo tấm đáy, ứng suất pháp dưới công trình chịu nén lệch tâm trong bài toán phẳng có thể xác định theo công thức:



**Hình 4-3.** Biểu đồ phản lực nền dưới công trình tuyệt đối cứng theo mô hình biến dạng tuyến tính.

$$\sigma_{(x)} = \frac{P}{\pi \sqrt{a^2 - x^2}} \left(1 + 2 \frac{ex}{a^2}\right) \quad (4-5)$$

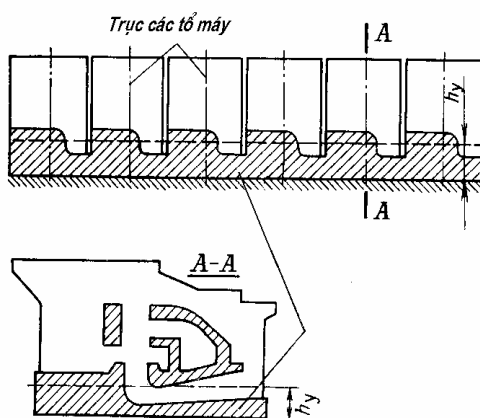
Các kí hiệu thể hiện trên hình 4-3.

Tính phản lực nền là một bài toán rất phức tạp và là bước quan trọng nhất trong tính toán độ bền nhà máy vì khi xác định không đúng biểu đồ phản lực nền sẽ dẫn đến việc xác định không đúng các vùng chịu kéo của nhà máy và do đó sẽ đặt cốt thép không đúng chỗ.

### 4.3. TÍNH TOÁN ĐỘ BỀN NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN

Như phần đầu đã đề cập, nhà máy thủy điện là một kết cấu không gian gồm nhiều cấu kiện có hình dạng phức tạp, độ cứng khác nhau nối liền thành một khối. Với kết cấu nặng và hình dạng phức tạp, thêm vào đó sơ đồ tải trọng tác động lên nhà máy cũng rất phức tạp nên hiện nay người ta chưa thể tính độ bền nhà máy như một kết cấu thống nhất bằng lí thuyết cơ kết cấu hoặc lí thuyết đàn hồi. Bởi vì phải xét đến trình tự gia tải, cường độ tăng dần độ cứng nhà máy, quá trình lún đang tiếp diễn, tính đàn hồi của bê tông cũng như đất không đồng nhất..vv..

Cho đến nay có rất nhiều phương pháp và sơ đồ tính toán độ bền nhà máy khác nhau phản ánh tính đa dạng của nhà máy thủy điện. Theo quan niệm mới gần đây người ta cho rằng trạng thái ứng suất trong mỗi phần tử của nhà máy gồm trạng thái



**Hình 4-4.** Sơ đồ tính toán độ bền chung theo phương ngang chiều dòng chảy như là một dầm trên nền đàn hồi.

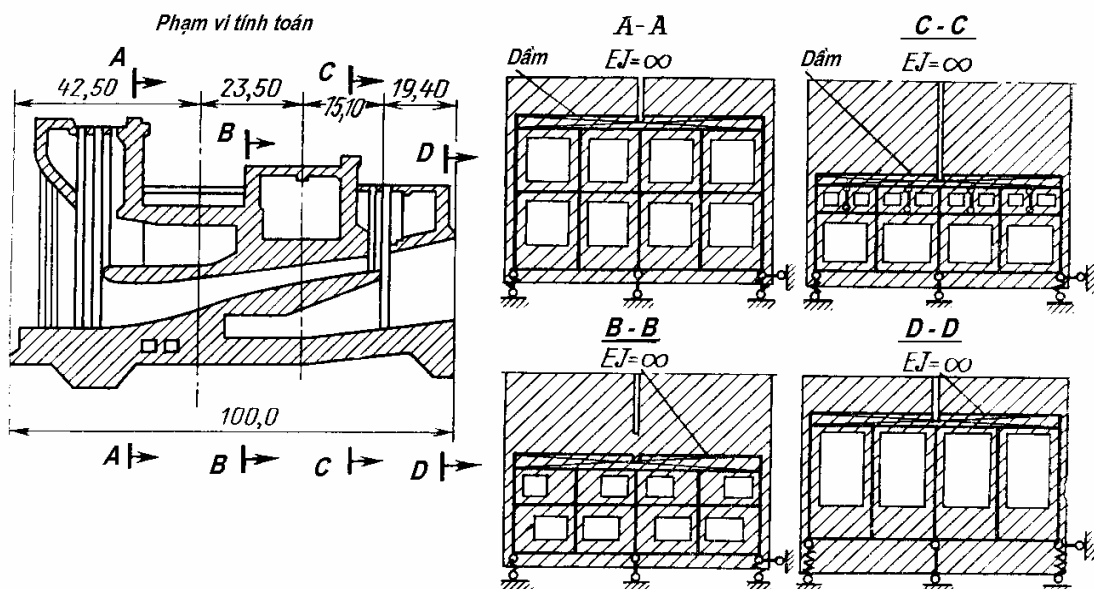
ứng suất mà phần tử tham gia làm việc chung với toàn thể nhà máy và trạng thái ứng suất mà phần tử làm việc dưới tác động của tải trọng cục bộ. Do đó người ta phải tính toán độ bền chung và độ bền cục bộ.

Trong bước tính toán độ bền chung xác định ứng lực trong các phần tử của nhà máy do biến dạng chung của nhà máy cùng làm việc với nền. Độ bền chung tính theo hai phương : ngang chiều dòng chảy (dọc theo nhà máy) và theo chiều dòng chảy (ngang nhà máy). Trong bước tính toán độ bền cục bộ xét sự làm việc riêng rẽ của từng phần tử nhà máy dưới tải trọng tại chỗ. ứng suất trong các phần tử là tổng ứng suất trong bước tính toán độ bền chung và độ bền cục bộ.

#### 4.3.1. Tính độ bền chung theo phương nằm ngang chiều dòng chảy (dọc nhà máy)

Khi tính toán độ bền chung theo phương nằm ngang chiều dòng chảy trên cơ sở sơ đồ tính toán kết cấu nhà máy đã chọn cũng như số lượng tổ máy trong phân đoạn.

Độ cứng nhà máy theo phương ngang chiều dòng chảy do kích thước tấm đáy,



**Hình 4-5.** Sơ đồ tính toán độ bền chung theo phương ngang chiều dòng chảy như là một khung phẳng

tường áp lực và các sản quyết định. Đối với nhà máy lòng sông có thể có hai sơ đồ tính toán:

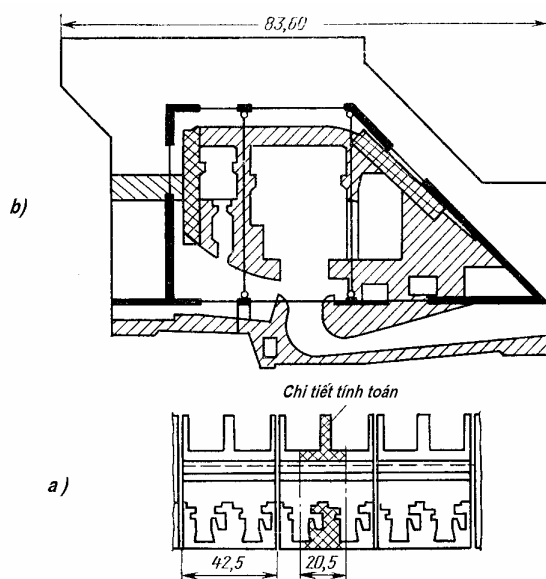
Sơ đồ thứ nhất xem nhà máy như một dầm nằm trên nền đàn hồi có độ cứng không đổi và bằng độ cứng nhỏ nhất của tiết diện cắt ngang (hình 4-4).

Sơ đồ thứ hai xem nhà máy như một khung phẳng hoặc một hệ khung phẳng song song cùng làm việc (hình 4-5)

Sơ đồ thứ nhất thường dùng cho các nhà máy thủy điện không kết hợp, nhà máy trong thân đập tràn thường phần trên có độ cứng rất nhỏ so với tấm đáy, kết cấu của nó theo chiều dọc không thể xem như là một khung hoặc cắt thành nhiều khung.

Sơ đồ thứ hai thường dùng cho nhà máy thủy điện kết hợp xả đáy và một số loại nhà máy khác. Tính toán theo sơ đồ này thường phân nhà máy ra một số vùng như vùng thượng lưu, vùng buồng xoắn, vùng khuỷu ống hút cong và vùng hạ lưu trong đó có các phần tử giống nhau và có thể coi như các khung.

#### 4.3.2. Tính toán độ bền chung theo phương dòng chảy (ngang nhà máy)



**Hình 4-6.** Sơ đồ tính toán độ bền chung theo phương dòng chảy như là một khung phẳng.

- a) Sơ đồ tách một phần tử dầm tĩnh định;  
b) Sơ đồ tách phần tử tính như một khung với các góc tuyệt đối cứng.

Độ cứng nhà máy theo phương dòng chảy chủ yếu do mô trụ chính và trung gian đảm bảo. Ở đây cũng có thể có hai loại sơ đồ tính toán:

+ Sơ đồ thứ nhất: tách một phần tử tính toán như một dầm tĩnh định nằm trên nền đàn hồi chịu tải trọng chủ động và phản lực. Dầm tính toán có thể gồm một hoặc nhiều mô trụ. Sơ đồ này thường dùng cho nhà máy không kết hợp và nhà máy kết hợp xả đáy (hình 4-6a)

+ Sơ đồ thứ hai: coi phần tử tính toán là một khung phẳng nối với các góc tuyệt đối cứng (hình 4-6b). Khung có thể là một mô trụ tách riêng, có thể là riêng phần tràn hoặc cũng có thể là một mô trụ và hai phần tràn bên cạnh. Sơ đồ này dùng cho nhà máy trong thân đập.

Các phương pháp tính độ bền chung nhà máy ở trên chủ yếu là áp

dụng lý thuyết cơ kết cấu hệ thanh cắt với phần tử có độ dày lớn làm giảm độ chính xác và cũng không xét đến trạng thái làm việc không gian nhà máy. Để khắc phục nhược điểm đó khi tính toán độ bền chung nhà máy nên tính theo sơ đồ các hệ dầm đặt vuông góc với nhau (hệ dầm trực giao). Sơ đồ này có thể giải dễ dàng bằng máy tính điện tử.

#### 4.4. TÍNH TOÁN ĐỘ BỀN CỤC BỘ

Độ bền cục bộ của các phần tử nhà máy tính toán với các tải trọng tác động trực tiếp lên các phần tử đó các phần tử của nhà máy có thể tính như các dầm, khung, các tấm có độ ngàm khác nhau.

Thường phải tính toán độ bền cục bộ cho các phần tử của nhà máy thủy điện như : bộ máy phát điện, buồng xoắn tua bin, ống hút, cửa lấy nước..vv..

##### 4.4.1. Tính toán kết cấu bộ máy phát điện

###### 1. Kiểu bộ máy và tải trọng

Bộ máy phát là kết cấu đỡ máy phát, có thể là hình ống tròn hoặc khung. Đối với trạm thủy điện loại vừa và lớn thường là ống tròn, nó có đặc điểm độ cứng lớn, khả năng chống xoắn và chống chấn động tốt.

Các tải trọng tác động lên bộ máy gồm có:

- Tải trọng tĩnh tác động thẳng đứng: trọng lượng bản thân ; trọng lượng sàn máy phát ; trọng lượng stato máy phát ; stato máy kích từ và các thiết bị phụ ; trọng lượng giá đỡ trên và giá đỡ dưới máy phát.

- Tải trọng động tác dụng thẳng đứng: Rô to máy phát và trục ; rô to máy kích từ ; turbin và trục ; áp lực nước hướng trục.

- Mô men xoắn bình thường. Máy phát khi vận hành bình thường do cảm ứng điện từ giữa rô to và stato nên ở stato máy phát sinh mô men xoắn tác dụng lên bộ máy tính toán như sau:

$$M_n = \frac{60 N \cos \varphi}{2 \pi \cdot 9,81 n} = 0,975 \frac{N \cos \varphi}{n} (Tm) \quad (4-6)$$

Trong công thức: N- công suất biểu kiến của máy phát điện (KVA); n- số vòng quay bình thường (v/f);  $\cos \varphi$  - hệ số công suất máy phát điện.

- Mô men xoắn khi chấp mạch: Khi chấp mạch sinh ra mô men xoắn rất lớn tác dụng lên bộ máy, thường gấp 5-7 lần mô men xoắn bình thường và bằng công thức:

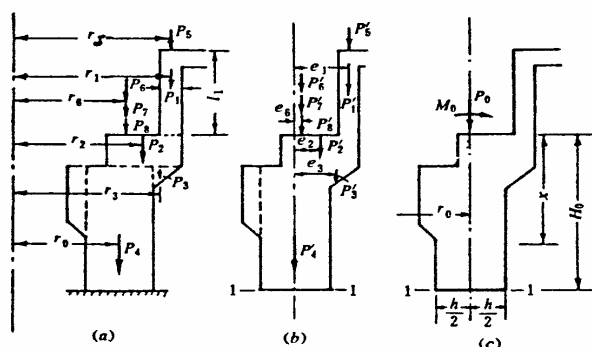
$$M_n' = 0,975 \frac{N}{n x_k} (T - m) \quad (4-7)$$

$x_k$ : điện kháng tức thời của máy phát, nó biến đổi trong phạm vi 0,18-0,33. Trị số này thường ghi trong tài liệu của xưởng chế tạo máy phát điện.

- Ứng suất do sự thay đổi nhiệt độ và sự co ngót của bê tông

## 2. Tính toán kết cấu bộ máy phát điện hình trụ

Sơ đồ tính toán: Bộ máy phát dạng hình trụ đỉnh liên kết với sàn máy phát, song khi tính toán xem như tự do không xét đến sự liên kết đó, đáy bộ máy tựa trên ống hút xem như ngàm chặt không xét đến biến dạng của ống hút. Các thành phần lực tác động lên bộ máy được phân bố đều trên chu vi của nó.



**Hình 4-7.** Sơ đồ tính toán bộ máy phát điện hình trụ

Các tải trọng tác động lên bộ máy:

- Tải trọng tĩnh : trọng lượng bản thân bộ máy  $P_1, P_2, P_3, P_4$  (Hình 4-7a), trọng lượng sàn máy phát  $P_5$  ; trọng lượng các bộ phận cố định máy phát  $P_6$ .

- Tải trọng động: gồm các bộ phận quay của máy phát  $P_7$  và áp lực nước dọc trục  $P_8$ . Tất cả các tải trọng này nhân với hệ số động.

Điểm tác động của các lực trên tính đến trung tâm tổ máy với khoảng cách  $r_i$ , khi chuyển về đường



trung tâm mặt cắt bộ máy có độ lệch tâm  $e_i$  (hình 4-7b).

Các tải trọng  $P_i$  chuyển đổi vị trí tác động để phù hợp với tải trọng tính toán ứng với mặt cắt bộ máy  $P_i'$ .

$P_i'$  tính theo công thức dưới đây:

$$P_i' = P_i \frac{r_i}{r_0} \quad (4-8)$$

Trong công thức

$P_i'$ : tải trọng tác động trên một cung đơn vị bộ máy.

$r_i$ : khoảng cách từ trung tâm tổ máy đến các lực tác động.

$r_0$ : khoảng cách từ trung tâm tổ máy đến mặt cắt tính toán bộ máy.

Tải trọng  $P_o = \sum P_i'$  tác động lên trung tâm mặt cắt của bộ máy đồng thời sinh ra mô men uốn  $M_o$

$$M_o = \sum P_i \cdot e_i \quad (4-9)$$

Sơ đồ tính toán hình 4-7 (c) biểu thị mặt cắt tính toán bộ máy, lực tác động  $M_o$ ,  $P_o$  và các kích thước khác.

**Tính ứng suất chính:**

1) Khi chiều cao bộ máy  $H < \pi S$ .

$$S = \frac{\sqrt{r_o \cdot h}}{\sqrt{3(1 - \mu^2)}} \quad (4-10)$$

Trong đó

$r_o$ : bán kính tính từ trung tâm tổ máy đến mặt cắt bộ máy.

$h$ : chiều dày bộ máy.

$\mu$ : hệ số Poisson.

Trong trường hợp này lấy một cung đơn vị của bộ máy để tính toán, đầu trên tự do, đầu dưới ngàm chặt tính theo cấu kiện nén lệch tâm. Lực tác động gồm lực hướng trục và mô men uốn.

$$T = P_o; \quad M = M_o$$

2) Khi chiều cao bộ máy  $H > \pi S$

Trong trường hợp này tính theo kết cấu ống vỏ mỏng (hình 4-7, c). Tại đỉnh bộ máy mô men uốn tác động  $M_o$ , từ đỉnh xuống đáy bộ máy theo phương trục x Mô men uốn  $M_x$  tính theo công thức dưới đây:

$$M_x = M_o \cdot \phi(\beta x) \quad (4-11)$$

trong công thức trên:

$$\Phi(\beta_x) = e^{-\beta_x} (\cos \beta_x + \sin \beta_x)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3(1-\mu^2)}{r_0^2 h^2}}$$

Căn cứ vào giá trị  $\beta$  dựa vào bảng 4-1. ta tính tìm được  $\phi(\beta x)$

$r_0$ : bán kính trung tâm bộ máy(m).

$h$ : chiều dày bộ máy(m).

$\mu$ : hệ số poát xông của bê tông, có thể lấy 1/5 hoặc 1/6.

Sau khi đã có nội lực  $M$  và  $T$  tiến hành tính toán ứng suất chính ở các mặt cắt tính từ đỉnh bộ máy cho đến đáy theo phương  $x$ :

$$\sigma_x = \frac{T}{F} \pm \frac{M \cdot y}{J}$$

Trong đó :

$T$ : lực hướng trục  $P_0$  tác dụng lên mặt cắt tính toán

$F$ : mặt cắt tính toán  $F=lxh$  ( $h$  chiều dày bộ máy phát)

$M$ : mô men uốn tác động lên bộ máy

$y$ : khoảng cách từ điểm tính toán ứng suất đến trục mặt cắt  $y=0 - h/2$ .

$J$ : mô men quán tính của tiết diện.

$$J = \frac{1 \cdot h^3}{12}$$

**Bảng 4-1.** Quan hệ hàm số  $\phi(\beta x)$

| $\beta x$ | $\phi(\beta x)$ | $\beta x$ | $\phi(\beta x)$ | $\beta x$ | $\phi(\beta x)$ | $\beta x$ | $\phi(\beta x)$ |
|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| 0         | 1.000           | 1.8       | 0.1234          | 3.6       | -0.0366         | 5.4       | -0.0006         |
| 0.1       | 0.9906          | 1.9       | 0.0932          | 3.7       | -0.0341         | 5.5       | 0.000           |
| 0.2       | 0.9651          | 2.0       | 0.0667          | 3.8       | -0.0314         | 5.6       | 0.0005          |
| 0.3       | 0.267           | 2.1       | 0.0438          | 3.9       | -0.0286         | 5.7       | 0.0009          |
| 0.4       | 0.8784          | 2.2       | 0.0244          | 4.0       | -0.2558         | 5.8       | 0.0013          |
| 0.5       | 0.8231          | 2.3       | 0.0080          | 4.1       | -0.0231         | 5.9       | 0.0015          |
| 0.6       | 0.7628          | 2.4       | -0.0056         | 4.2       | -0.0204         | 6.0       | 0.0017          |
| 0.7       | 0.6997          | 2.5       | -0.0166         | 4.3       | -0.0179         | 6.1       | 0.0018          |
| 0.8       | 0.6353          | 2.6       | -0.0254         | 4.4       | -0.0155         | 6.2       | 0.0019          |
| 0.9       | 0.5712          | 2.7       | -0.0320         | 4.5       | -0.0132         | 6.3       | 0.0019          |
| 1.0       | 0.5083          | 2.8       | -0.0369         | 4.6       | -0.0111         | 6.4       | 0.0018          |
| 1.1       | 0.4476          | 2.9       | -0.0403         | 4.7       | -0.0092         | 6.5       | 0.0018          |
| 1.2       | 0.3898          | 3.0       | -0.0422         | 4.8       | -0.0075         | 6.6       | 0.0017          |
| 1.3       | 0.3355          | 3.1       | -0.0431         | 4.9       | -0.0059         | 6.7       | 0.0016          |

|     |        |     |         |     |         |     |        |
|-----|--------|-----|---------|-----|---------|-----|--------|
| 1.4 | 0.2849 | 3.2 | -0.0431 | 5.0 | -0.0046 | 6.8 | 0.0015 |
| 1.5 | 0.2384 | 3.3 | -0.0422 | 5.1 | -0.0033 | 6.9 | 0.0014 |
| 1.6 | 0.1960 | 3.4 | -0.0408 | 5.2 | -0.0023 | 7.0 | 0.0013 |
| 1.7 | 0.1576 | 3.5 | -0.0388 | 5.3 | -0.0014 |     |        |

Nếu bộ máy phát có lỗ đi vào giềng tua bin với bán kính là  $a$  thì:

$$P_X = \frac{\Sigma P}{2\pi r_0 - 2a}$$

$\Sigma P$ : toàn bộ tải trọng tác động thẳng đứng.

*Tính ứng suất cắt cho bộ máy trong các trường hợp sau đây:*

- Ứng suất cắt xảy ra khi chập mạch  $\tau_n'$ .

$$\tau_n' = \frac{u \cdot M_n' \cdot r_0}{I_P} \quad (4-14)$$

Trong công thức:  $I_P$ - mô men quán tính cực của mặt cắt bộ máy

$$I_P = \frac{P}{32} (D^4 - d^4)$$

$d$ ,  $D$ - đường kính trong và ngoài bộ máy ;  $u$ - hệ số xung kích.

$$u = \frac{2 \left[ 1 + \frac{T_a}{t_1} (1 - e^{-\frac{t_1}{T_a}}) \right]}{1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}} \quad (4-15)$$

trong đó :  $t_1 = 30/n$  (sec);  $T_a$ - hằng số quán tính máy phát (s) do xường chế tạo cung cấp.

- Ứng suất cắt do biên độ lệch tâm của máy móc sinh ra :

$$\tau_P = \alpha \frac{C_p \cdot A_2}{\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)} \quad (4-16)$$

$\alpha$  - hệ số môi của bê tông cốt thép thường bằng 2.

$C_p = 1/\delta_2$

$\delta_2$  - biến vị ngang của đầu bộ máy dưới tác dụng của lực đơn vị tác dụng ngang .

$A_2$  - biên độ chấn động ngang do lực li tâm sinh ra.

- Ứng suất cắt do biên độ mô men xoắn sinh ra

$$\tau_{\theta} = \alpha \frac{C_{\theta} \cdot A_3}{I_p} \quad (4-17)$$

$A_3$  - biên độ xoắn;  $C_{\theta} = 1 / \varphi_i$ ;  $\varphi_i$  - góc xoắn dưới tác dụng mô men xoắn đơn vị.

Ứng suất cắt trong các trường hợp tính toán trên thì trường hợp chập mạch là trường hợp nguy hiểm thường để kiểm tra. Tổng ứng suất cắt:

$$\tau = \tau_n' + \tau_p + \tau_{\theta} \quad (4-18)$$

Nếu bộ máy có cửa đi vào giếng tua bin thì ứng suất cắt  $\tau_n'$  và  $\tau_p$  có thể dùng công thức ống tròn có lỗ để tính:

$$\tau_n' = \frac{u \cdot M n' \cdot (3l + 1,8h)}{l^2 h^2} \quad (4-19)$$

$$\tau_p = \alpha \frac{C_p \cdot A_2}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) - f} \quad (4-20)$$

trong đó :  $l$ : chu vi tâm bộ máy;  $h$ : chiều dày bộ máy;  $f$ : diện tích cửa vào giếng tua bin

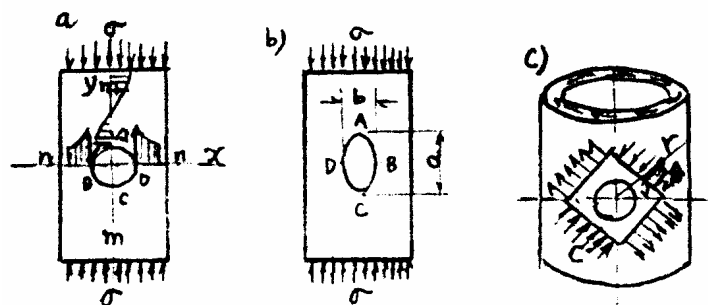
Sau khi đã tính được ứng suất chính  $\sigma$  và ứng suất cắt  $\tau$  tiến hành tính toán ứng suất kéo của bộ máy theo công thức:

$$\sigma_{ze} = \frac{\sigma}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \quad (4-21)$$

Trị số ứng suất kéo không được vượt quá giá trị cho phép của bê tông tức là  $[\sigma_{ze}] < R_e / k_z$ . Nếu không phải đặt nhiều cốt thép ngang và cốt thép đứng để chống lại ứng suất kéo.

### 3. Tính toán ứng suất cục bộ cửa lỗ (cửa vào giếng tua bin)

Bộ máy phát hình viên trụ với tổ máy công suất lớn thường chứa cửa đi vào giếng tua bin. Ta có thể xem như ống tròn có khoét lỗ, dưới tác dụng của lực xung quanh lỗ sinh ứng suất tập trung. Khi thiết kế dựa vào ứng suất lớn hoặc nhỏ để đặt cốt thép gia cường. Khi tính toán có thể khai triển ống có lỗ nằm trong mặt phẳng vô hạn để tính.



Hình 4-8. Sơ đồ tính toán ứng suất cục bộ cửa vào giếng tua bin

Nếu lỗ là hình tròn có bán kính  $a$  dưới tác dụng của ứng suất nén  $\sigma$  xung quanh lỗ sinh ứng suất được tính như sau (hình 4-8a)

Trên đường n-n ứng suất nén cách tâm lỗ theo khoảng cách  $x$  và trên đường m-m ứng suất kéo cách tâm lỗ khoảng cách  $y$

$$\sigma_y = \frac{\sigma}{2} \left( 2 + \frac{a^2}{x^2} + \frac{3.a^4}{x^4} \right) \quad (4-22)$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{2} \left( \frac{a^2}{y^2} - \frac{3.a^4}{y^4} \right) \quad (4-23)$$

Tại điểm A,C ( $y=a$ ) ứng suất kéo lớn nhất  $\sigma_x = -\sigma$ .

Tại điểm B,D ( $x=a$ ) ứng suất nén lớn nhất  $\sigma_y = 3\sigma$ .

Đối với lỗ hình e líp thì ứng suất kéo  $\sigma_x$  và ứng suất nén  $\sigma_y$  sẽ là (hình 4-8b)

$$\sigma_y = \frac{-\sigma}{b}.a \quad (4-24)$$

$$\sigma_x = \sigma \left( 1 + 2 \frac{b}{a} \right) \quad (4-25)$$

Bệ máy dưới tác dụng của mô men xoắn ngang với tọa độ  $(\theta, r)$  ứng suất cục bộ mép lỗ (hình 4-8c)

$$\sigma_\theta = -\tau_\theta \cdot \cos 2\theta \left( 1 + 3 \frac{a^4}{r_0^4} \right) \quad (4-26)$$

trong công thức

$$\tau_\theta = \frac{Mn}{2 \pi r_0^2 h}$$

Tại điểm A', C', B', D' ;  $\theta = 45^\circ$ ,  $r = a$  ứng suất kéo, nén có giá trị lớn nhất  $\sigma_\theta = 4.\tau_\theta$

Nếu ứng suất kéo vượt quá ứng suất kéo cho phép của bê tông  $R_{e/k_z}$  thì bố trí cốt thép vòng xung quanh lỗ

#### 4. Ứng suất nhiệt

Khi nhiệt độ thay đổi, trong bộ máy cũng có thể phát sinh ứng suất nhiệt. ứng suất này chia làm hai loại

Khi nhiệt độ tăng hoặc hạ nhưng ở bên trong bộ máy và bên ngoài đều như nhau thì đối với nhiệt độ thay đổi là  $t^\circ\text{C}$ , dưới chân bộ máy sẽ sinh ra lực cắt  $Q_t$  và mô men uốn  $M_t$  tính theo công thức sau:

$$M_t = \frac{1}{6} \beta^2 \frac{E h^3}{(1 - \mu^2)} r_0 \alpha t \quad (4-27)$$

$$Q_t = \frac{1}{3} \beta^3 \frac{E h^3}{(1 - \mu^2)} r_0 \alpha t \quad (4-28)$$

trong công thức:

$\alpha$ : hệ số nở của bê tông ( $\alpha=0,00001$ )

các kí hiệu khác giống trên.

Khi nhiệt độ bên trong và bên ngoài bộ máy khác nhau thì sẽ phát sinh ứng suất nhiệt không đều. Gọi  $\Delta t = t_1 - t_2$  là độ chênh nhiệt độ, giả thiết  $t_1$  là nhiệt độ bên trong bộ máy ;  $t_2$  là nhiệt độ bên ngoài bộ máy.  $t_1 > t_2$  bên ngoài bộ máy chịu kéo, trong bộ máy chịu nén

$$\sigma = \frac{\alpha E \Delta t}{2 (1 - \mu)} \quad (4-29)$$

Ở hai đầu bộ máy vì bị ảnh hưởng của điều kiện giới hạn nên ứng suất phải tăng thêm 40%.

### 5. Tính toán động lực bộ máy

Khi tổ máy truyền động, dưới tác dụng của tải trọng động bộ máy sinh ra chấn động cưỡng bức và chấn động tự do. Do đó cần phải tính toán tần số chấn động cưỡng bức và tần số chấn động tự do, kiểm tra bộ máy có phát sinh dao động cộng hưởng không. Đồng thời phải tính toán biên độ dao động lớn nhất có vượt quá giá trị cho phép không. Ngoài ra khi tính toán nội lực, sơ bộ dùng hệ số động lực từ 1,5 - 2,0 để tính toán, sau đó cần phải tính toán hệ số động lực thực tế là bao nhiêu để thỏa mãn điều kiện an toàn và kinh tế.

#### a) Tần số chấn động cưỡng bức:

Khi tổ máy vận hành, có hai loại lực tác động có tính chất chu kì sau đây tác động lên bộ máy

- Chấn động sinh ra do phần quay tổ máy

Vì rô to máy phát điện không thể lắp tuyệt đối cân bằng, vì vậy khi chuyển động phát sinh dao động cưỡng bức có tần số  $n_1$  bằng với số vòng quay bình thường tổ máy  $n$ .

$$n_1 = n \quad (7-30)$$

- Chấn động do sự xung kích thủy lực

Khi cánh của bánh xe turin quay qua đầu cánh hướng nước thì áp lực nước thay đổi một lần, sự thay đổi đó sinh ra chấn động bộ máy. Gọi số cánh bánh xe turbin là  $z_1$ , số cánh hướng nước là  $z_2$  thì tần số chấn động là

$$n_2 = \frac{n \cdot z_1 z_2}{a} \quad (4-31)$$

Trong công thức a là ước số chung lớn nhất của  $z_1$  và  $z_2$ .

Chấn động này chủ yếu thẳng đứng đối với bộ máy. Ngoài ra còn có chấn động do áp lực mạch động của dòng chảy và khí thực sinh ra. Các lực này đều không có tính chất chu kì, thay đổi tương đối phức tạp.

*b) Tần số chấn động tự do của bộ máy*

Tần số chấn động tự do của bộ máy gồm 3 hướng: chấn động thẳng đứng, chấn động ngang và chấn động xoắn.

- Tần số chấn động thẳng đứng  $n_{01}$

$$n_{01} = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{G_1 \delta_1}} = \frac{30}{\sqrt{G_1 \delta_1}} \quad (4-32)$$

Trong đó :

$G_1$ - Tác dụng lên bộ máy toàn bộ tải trọng thẳng đứng;  $\Sigma P_i$  cộng với trọng lượng bản thân bộ máy  $P_o$  và trọng lượng tấm đỉnh buồng xoắn  $P_a$ ;  $G_1 = \Sigma P_i + P_o + P_a$  (tấn)

$\delta_1$ : biến vị thẳng đứng của kết cấu dưới tác dụng lực đơn vị (bao gồm biến vị thẳng đứng của bộ máy bị nén và đỉnh của của buồng xoắn)

- Tần số chấn động ngang  $n_{02}$

$$n_{02} = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{G_2 \delta_2}} = \frac{30}{\sqrt{G_2 \delta_2}} \quad (4-33)$$

Trong đó :

$G_2$  - tải trọng tác dụng lên bộ máy  $G_2 = \Sigma P_i + 0.35P_o$  (tấn)

$\delta_2$  - biến vị ngang bộ máy khi lực đơn vị tác dụng lên đầu bộ máy (loại bỏ sự ảnh hưởng của sàn máy phát đối với đỉnh bộ máy)

- Tần số chấn động xoắn  $n_{03}$

$$n_{03} = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{I_\varphi \varphi_1}} = \frac{30}{\sqrt{I_\varphi \varphi_1}} \quad (4-34)$$

$$I_\varphi = Q_s \frac{D_s^2}{4} + 0,35 \frac{P_o^2 \cdot D_o^2}{4}$$

$Q_s, D_s$  - trọng lượng và đường kính bình quân stato.

$P_o, D_o$ - trọng lượng và đường kính bình quân bộ máy

$\varphi_1$  - góc xoắn kết cấu dưới tác dụng mô men xoắn đơn vị

$$\varphi_1 = \frac{1}{GI_P} = \frac{1}{G \frac{\pi}{2} (D^4 - d^4)}$$

G - mô men đàn hồi chống cắt bê tông ( $G=0,425 E_b$ ); l - chiều cao bộ máy

#### c) Kiểm tra cộng hưởng

Sau khi tính toán được tần số chấn động cưỡng bức và tần số tự do của bộ máy ; có thể tiến hành kiểm tra cộng hưởng. Khi  $n \approx n_0$  (n gần bằng  $n_0$ ) phát sinh cộng hưởng, lúc này biến dạng và ứng suất của kết cấu bộ máy gia tăng một cách kích liệt, dẫn đến sự nguy hiểm an toàn cho bộ máy . Vì vậy giữa n và  $n_0$  có độ chênh lệch nhất định, đồng thời để tránh phát sinh cộng hưởng tức thời khi ngừng máy n phải nhỏ hơn  $n_0$ . Để không phát sinh cộng hưởng phải thỏa mãn hai điều kiện dưới đây:

$$n < n_0$$

n và  $n_0$  chênh lệch từ 20 - 30% tức là

$$(n_0 - n)/n_0 > 20-30 \% \quad (4-35)$$

Nếu không thỏa mãn điều kiện trên, phải tăng kích thước bộ máy để tăng tần số chấn động tự do bộ máy.

#### 4) Kiểm tra biên độ dao động

Trong tính toán động lực, ngoài kiểm tra cộng hưởng còn cần phải tiến hành tính toán kiểm tra biên độ dao động bộ máy.

##### a) Biên độ dao động thẳng đứng

$$A_1 = \frac{P_1}{\frac{G_1}{g} \sqrt{(\lambda_1^2 - \omega_1^2)^2 + 0,2\lambda_1^2 \omega_1^2}} \quad (4-36)$$

Trong đó:

$P_1$  : tải trọng động tác dụng lên bộ máy

$G_1$ : trọng lượng bản thân bộ máy và toàn bộ tải trọng tác dụng lên bộ máy  
(tấn)

$$\lambda_1 = \frac{2 \pi n_{01}}{60}$$

$$\omega_{11} = \frac{2 \pi n}{60}$$

##### b) Biên độ dao động ngang



$$A_2 = \frac{P_2}{\frac{G_2}{g} \sqrt{(\lambda_2^2 - \omega_2^2)^2 + 0.2\lambda_2^2 \omega_2^2}} \quad (4-37)$$

trong công thức

$P_2$ : tải trọng chấn động ngang tác dụng lên bộ máy chính là lực li tâm  $P_2 = em \cdot \omega_2^2$ .  $e$  là độ lệch tâm của bộ phận quay. Khi số vòng quay tổ máy  $n \leq 750$  v/ph;  $e = 0,035 - 0,080$  cm;  $m_1$  là khối lượng bộ phận quay,  $m_1 = W_1/g$ ;  $W_1$  là trọng lượng bộ phận quay của máy phát;  $\omega_2 = \omega$  góc quay tổ máy khi vận hành bình thường

$$\lambda_1 = \frac{2 \pi n_{01}}{60}$$

c) Biên độ xoắn ngang

$$A_3 = \frac{M_n \cdot R}{\frac{I_\varphi}{g} \sqrt{(\lambda_3^2 - \omega_3^2)^2 + 0.2\lambda_3^2 \omega_3^2}} \quad (4-38)$$

trong công thức:

$M_n$ - mô men xoắn bình thường

$R$ - bán kính ngoài bộ máy

$$\lambda_2 = \frac{2 \pi n_{02}}{60}$$

$$\omega_3 = \frac{2 \pi n_p}{60}$$

$n_p$ - tốc độ quay lồng

d) Kiểm tra biên độ dao động

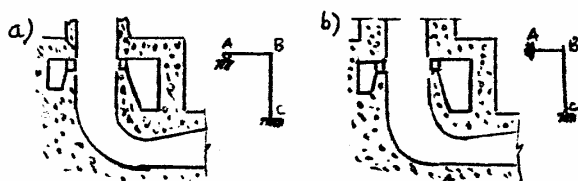
Biên độ dao động tính toán ở trên không được vượt quá quy định dưới đây:

- Biên độ thẳng đứng:  $A_1 < 0,1 - 0,15$  mm

- Biên độ ngang:  $A_2$  và  $A_3 < 0,15 - 0,20$  mm

#### 4.4.2. Buồng xoắn tua bin

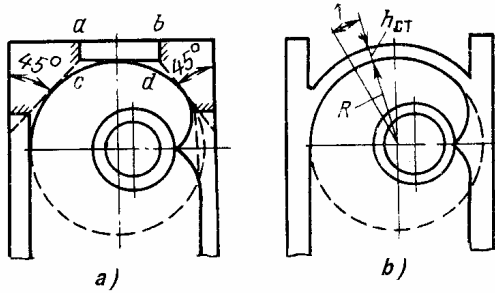
Buồng xoắn là kết cấu dẫn nước vào tua bin chủ yếu chịu áp lực nước bên trong, cho nên vỏ buồng xoắn sinh ứng suất kéo rất lớn. Kích thước, hình dạng buồng xoắn mặt cắt tròn hoặc hình thang phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố và được tính toán lựa chọn cho từng loại tua bin và nhà máy, như đã trình bày trong phần tua bin nước.



**Hình 4-9.** Tính toán buồng xoắn theo sơ đồ khung hình chữ  $\Gamma$

### 1. Tính toán kết cấu buồng xoắn bờ tung tiết diện hình thang

Trong tính toán kết cấu buồng xoắn có hai phương pháp: phương pháp thứ nhất xem tường và trần là một khối thống nhất và tính theo sơ đồ khung hình chữ  $\Gamma$  (hình 4-9) ; phương pháp thứ hai tách riêng trần và tường buồng xoắn theo các tấm ngàm. Phương pháp này được sử dụng rộng rãi vì trong nhiều trường hợp có kể đến điều kiện cùng làm việc của các phần tử trong buồng xoắn.



**Hình 4-10.** Buồng xoắn bê tông nhà máy thủy điện

- a) Tường hạ lưu phẳng có chiều dày thay đổi  
b) Tường hạ lưu mặt hình trụ chiều dày không thay đổi.

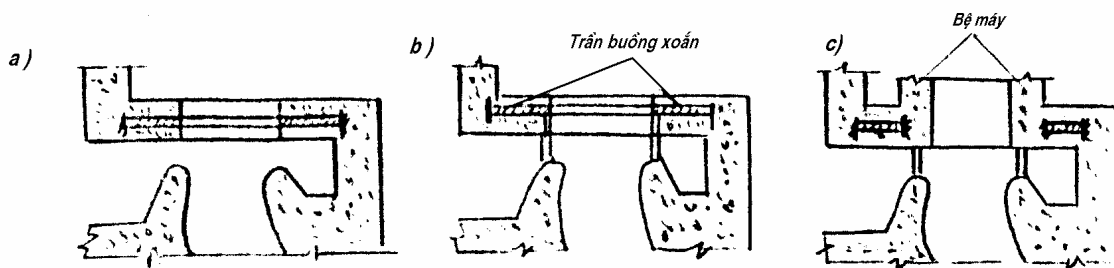
Theo phương pháp thứ hai người ta phân buồng xoắn ra các phần tử sau đây: trần là tấm khoét lỗ tròn giữa, thượng lưu giới hạn bởi tường áp lực của nhà máy ; hạ lưu giới hạn bởi tường cong áp lực của buồng xoắn; tường buồng xoắn ở hai bên do các mô trụ làm thành ; tường cong áp lực buồng xoắn ở phía hạ lưu có chiều dày thay đổi hoặc không thay đổi (hình 4-10) ; phần chớp cắt stato

Tải trọng tác động lên buồng xoắn là trọng lượng bản thân, áp lực thủy tĩnh, áp lực động, ứng lực nhiệt, trọng lượng thiết bị truyền từ bộ máy xuống.

Qua phân tích sự làm việc của buồng xoắn người ta thấy rằng khi tính toán độ bền cục bộ có thể tính riêng từng phần tử một không phụ thuộc nhau.

#### a) Tính toán trần buồng xoắn

Trần buồng xoắn có dạng hình vành khăn vòng ngoài ngàm, độ võng của trần theo đường a-a hình 4-12 không phát triển được và rất nhỏ nên trong tính toán có thể tính theo sơ đồ tấm vành khăn ngàm vòng ngoài ; vòng trong tùy thuộc vào kết cấu của cánh hướng nước và kết cấu bộ máy phát điện có thể là tựa tự do hoặc ngàm hoàn toàn (hình 4-11).

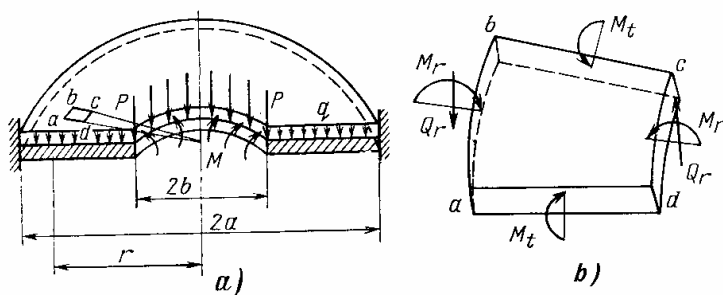


**Hình 4-11.** Sơ đồ tính toán buồng xoắn có dạng tấm tròn.

a- Vòng trong tấm trần treo tự do; b- Vòng trong tấm trần tựa tự do ;

c- Vòng trong tấm trần ngàm

Trong các tấm tròn dưới tác động của tải trọng phân bố đều  $q$  trên tấm tròn, tải trọng tập trung xung quanh vòng trong  $P$  và mô men  $M$  (hình 4-12) xuất hiện mô men uốn theo hai hướng: hướng tâm  $M_r$  và hướng tiếp tuyến  $M_t$ . Trị số của chúng có thể tính từ công thức chung của tấm tròn theo lý thuyết tấm vành khăn vòng trong treo tự do.



**Hình 4-12.** Sơ đồ tải trọng tác dụng lên tấm trần

$$\left. \begin{aligned} M_r &= -D \left( \frac{d^2 \omega}{dr^2} + \frac{\mu}{r} \frac{d\omega}{dr} \right) \\ M_t &= -D \left( \mu \frac{d^2 \omega}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\omega}{dr} \right) \\ Q_r &= -D \frac{d}{dr} \left[ \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{d\omega}{dr} \right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (4-39)$$

Trong công thức:

$M_r$ : mô men uốn hướng tâm

$M_t$ : mô men uốn hướng tiếp tuyến

$Q_r$ : lực cắt hướng bán kính

$\omega=f(r)$ : độ võng

$\mu$ : hệ số Poisson

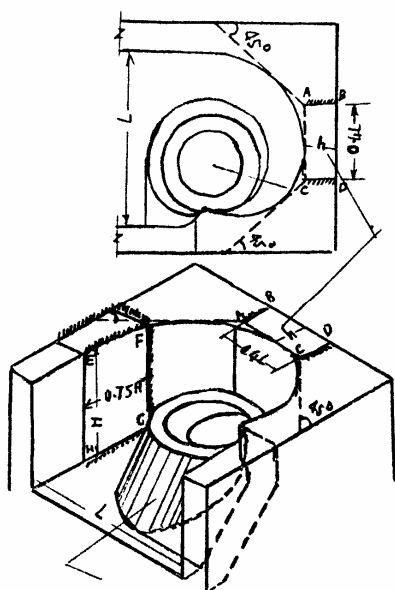
$D$ : Độ cứng của tấm trần

$$D = \frac{Eh^2}{12(1-\mu^2)}$$

Để tiện tính toán người ta đã lập sẵn các bảng tính tấm vành khăn cho các trường hợp tải trọng khác nhau (như tải trọng phân bố đều theo bề mặt ; trọng lượng bản thân

và trọng lượng nước ; lực tập trung phân bố theo vòng trong ; mô men phân bố theo vòng trong khi vòng trong bị ngàm).

## 2. Tính toán tường buồng xoắn



**Hình 4-13.** Thể hiện cách tính tường áp lực hạ lưu buồng xoắn

Tường buồng xoắn gồm hai tường bên và tường hạ lưu. Tường hạ lưu có thể có tiết diện ngang thay đổi (tường mặt hạ lưu phẳng hình 4-10a) hoặc có tiết diện không đổi (mặt tường hạ lưu cong (hình 4-10b)). Do hình dạng kết cấu hai loại không giống nhau, nên phương pháp tính cũng khác nhau.

### a) Tường hạ lưu phẳng

Tường buồng xoắn áp lực ở phía hạ lưu có độ dày thay đổi, chiều cao cũng không giống nhau, chỉ cần tính cho phần mỏng nhất và tính như một tấm ngàm 4 cạnh chịu tải trọng hình thang theo các bảng lập sẵn.

Độ dài của tấm bảng trên mặt bằng do hai đường tiếp tuyến với đường cong buồng xoắn và tạo thành một góc  $45^0$  với tường bên (hình 4-13) cũng có thể lấy độ dài  $AC = 0,4L$ .

### b) Tường hạ lưu cong.

Tường hạ lưu là kết cấu hình cong có chiều dày không đổi, khi tính toán người ta coi tường như một nửa vòng tròn ngàm 4 cạnh và cho rằng :

- Tường là một hệ giải đứng tạo thành bị ngàm hai đầu và bên ngoài các giải đứng đó bị bao bởi một vành đai đàn hồi.

- áp lực nước tác động hoàn toàn lên các giải đứng dưới dạng hình thang làm cho chúng bị uốn và vành đai đàn hồi cản trở việc uốn đó. Như vậy, trên nhịp đứng đó có hai tải trọng tác động ngược chiều nhau, tải trọng hình thang với tung độ ở hai đầu  $q_1$  và  $q_2$  và tải trọng hình chữ nhật với cường độ  $P_k$  (hình 4-14)

- Độ uốn thấy rõ ở giữa nhịp nên chỉ tính chống uốn của vành đai nửa đoạn ở giữa nhịp đứng và biểu thị bằng phản lực phân bố đều  $P_k$ . Rõ ràng, phản lực  $P_k$  chính là lực của vành đai đàn hồi chịu tác động áp lực nước, vì vậy biến dạng điểm giữa của giải đứng bằng trị số bán kính tăng thêm của vành đai đàn hồi. Nếu gọi  $\delta$  là độ tăng của vành đai dưới tác dụng của tải trọng  $P_k$  ta có

$$\delta = \frac{Pl}{EF} = \frac{Pk.R.\pi.R}{Eh} = \frac{Pk.R^2.\pi}{Eh}$$

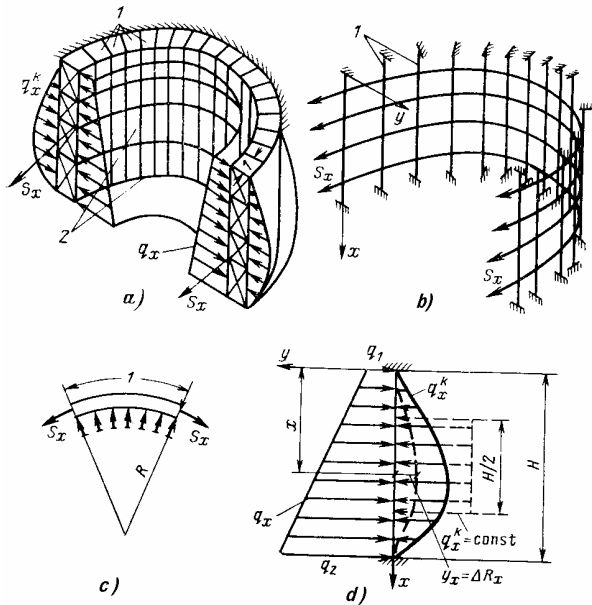
trong công thức:

R: bán kính vành đai

E: mô đun đàn hồi bê tông cốt thép

l: độ dài tính toán của vành đai  $l = \pi.R$

F: tiết diện của vành đai  $F = 1xh$  (h: chiều dày tường áp lực)



**Hình 4-14.** Sơ đồ tính toán tường hạ lưu hình trụ

a- Sơ đồ lực tác dụng; b- Sơ đồ tính toán; c- Sơ đồ xác định áp lực ở nửa vòng do áp lực bên trong; d- Biểu đồ tải trọng  $q_x$  và phản lực  $P_k$  trên dầm thẳng đứng; 1- Dầm đứng; 2- Nửa vòng nằm ngang

Đồng thời độ tăng thêm của bán kính vành đai

$$\Delta R = \frac{\delta}{\pi} = \frac{Pk.R^2}{Eh}$$

Dưới tác dụng của tải trọng và phản lực  $P_k$  độ võng của giải đúng:

$$y_{\frac{H}{2}} = y_x = \frac{(q_1 + q_2)H^4}{768 EJ} - \frac{13}{384} \frac{Pk.H^4}{EJ}$$

Ta có:  $q_2 = q_1 + H$ ;  $J = 1xh^3/12$  thay vào ta được

$$y_{\frac{H}{2}} = y_x = \frac{H^4}{64 Eh^3} (2q_1 + H - \frac{13}{8} Pk)$$

Căn cứ vào điều kiện biến dạng điểm giữa của giải đúng bằng trị số tăng thêm của bán kính vành đai ( $\Delta R = y_{H/2}$ ) ta được:

$$Pk = \frac{H^4 (2q_1 + H)}{64 h^2 (R^2 + \frac{13 H^4}{512 h^2})} \quad (4-40)$$

Mô men uốn tại hai gối đầu ngàm A, B và điểm giữa:

$$\begin{aligned}
 M_A &= \frac{H^2}{12} \left[ \frac{5q_1 + 2H}{5} - \frac{11}{16} \frac{(2q_1 + H)H^4}{64h^2R^2 + \frac{13}{8}H^4} \right] \\
 M_B &= \frac{H^2}{12} \left[ \frac{5q_1 + 3H}{5} - \frac{11}{16} \frac{(2q_1 + H)H^4}{64h^2R^2 + \frac{13}{8}H^4} \right] \\
 M_{H/2} &= \frac{H^2}{48} (2q_1 + H) \left[ 1 - \frac{7}{4} \frac{H^4}{64h^2R^2 + \frac{13}{8}H^4} \right]
 \end{aligned} \tag{4-41}$$

Biết tải trọng và mô men gối tựa có thể dễ dàng xác định lực cắt trong từng thanh đứng

*c) Tường bên của buồng xoắn*

Tường bên của buồng xoắn là các móng trụ của nhà máy thủy điện. Có thể phân tường bên buồng xoắn làm hai phần: phần kề với tường áp lực hạ lưu trong phạm vi  $0,75.H$  (hình 4-13 EFGH) là tấm ngàm ba cạnh chịu tải trọng hình thang, còn đoạn từ EH trở ra (trụ chính) coi như tấm ngàm hai cạnh trên và dưới.

Đối với tấm ngàm ba cạnh chịu tải trọng hình thang thì mô men và phản lực có thể tính theo công thức dưới đây:

$$\begin{aligned}
 M_x &= \frac{l_x^2}{9} (\alpha_x \cdot q_1 + \alpha'_x \cdot q_2) \\
 M_y &= \frac{l_y^2}{9} (\alpha_y \cdot q_1 + \alpha'_y \cdot q_2) \\
 R &= \frac{l_x}{3} (\beta \cdot q_1 + \beta' \cdot q_2)
 \end{aligned} \tag{4-42}$$

trong đó :

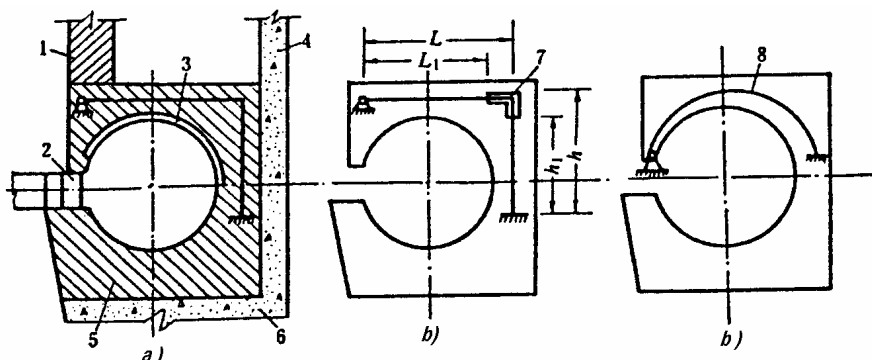
$l_x, l_y$ : cạnh dài của bảng bằng  $0,75H$  và  $H$

$q_1, q_2$ : cường độ tải trọng

$\alpha_x, \alpha'_x, \alpha_y, \alpha'_y, \beta, \beta'$ : hệ số mô men và lực cắt cho trong bảng tra

## 2. Tính toán kết cấu buồng xoắn kim loại tiết diện tròn ngoài bọc một lớp bê tông cốt thép

Loại buồng xoắn này chịu áp lực nước bên trong là chủ yếu, còn tải trọng bên ngoài do lớp bê tông cốt thép đảm nhận. Nửa bên trên buồng xoắn kim loại và lớp bê tông cốt thép có lót một lớp đệm đàn hồi dày từ 2 đến 4 cm với mục đích để buồng



**Hình 4-15.** Sơ đồ tính toán buồng xoắn kim loại ngoài bọc bê tông cốt thép

1- Bệ máy phát; 2- Vòng bê; 3- Lớp đàn hồi; 4- Tường ngoài; 5- Bê tông đợt II; 6- Bê tông đợt I; 7- Góc cứng; 8- Cung tròn

xoắn tự do biến dạng khi chịu áp lực bên trong không ảnh hưởng đến lớp bê tông cốt thép bọc ngoài (Hình 7-15)

Khi tính toán chủ yếu tính cho lớp bê tông từ tâm buồng xoắn trở lên, còn lớp bê tông từ tâm buồng xoắn trở xuống liên kết chặt thành một khối nên không tính.

Khi cột nước trạm thủy điện lớn, nếu dùng tấm đệm đàn hồi thì vỏ thép buồng xoắn rất dày, nếu độ dày  $\delta > 60$  mm không bảo đảm chất lượng gia công. Vì vậy, để giảm độ dày vỏ buồng xoắn thì phải liên kết chặt giữa vỏ buồng xoắn và bê tông cốt thép bên ngoài để cùng chịu lực.

**Tải trọng tổng hợp**

- Trọng lượng bản thân cấu kiện
- Tải trọng từ bệ máy chuyển đến. Trong tính toán tính lực ứng suất mặt cắt đáy của bệ máy giả thiết phân bố theo đường thẳng.
- Hoạt tải của tầng tua bin
- áp lực nước bên trong (kể cả áp lực nước va)
- áp lực nước bên ngoài.
- Lực do ảnh hưởng nhiệt độ.

**Sơ đồ tính toán**

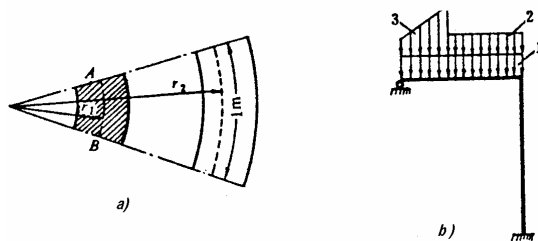
Buồng xoắn kim loại bên ngoài bọc lớp bê tông cốt thép là một kết cấu tổng thể không gian, để đơn giản khi tính toán người ta đưa về mặt phẳng. Từ tường buồng

xoắn theo hướng bán kính cắt một dải thành một đơn vị chiều rộng có dạng khung chữ  $\Gamma$ , thực chất nó là một hình rẻ quạt, một đầu liên kết với vòng bệ tua bin một đầu ngàm chặt ở phần dưới buồng xoắn như hình (b). Trong một số trường hợp tường buồng xoắn tương đối dày hoặc giữa hai tổ máy không có khớp lún thì có thể tính theo sơ đồ nửa cung tròn như hình (c).

Vì khi cắt một dải theo hướng bán kính nó là một khung phẳng hình rẻ quạt có chiều rộng đơn vị là 1 M tải trọng phân bố trên cung AB là  $q_0$  phải chuyển đổi thành tải trọng phân bố trên chiều rộng đơn vị 1 M là  $q$  như hình (a)

$$q = \frac{AB}{1} q_0 = \frac{r_1}{r_0} q_0 \quad (4-43)$$

Tải trọng bản thân cấu kiện và tải trọng từ tầng tua bin chuyển đến cũng chuyển đổi thành tải trọng phân bố đều trên chiều rộng đơn vị 1m của khung chữ  $\Gamma$  hình (b)



**Hình 4-16.** Sơ đồ chuyển đổi tải trọng để tính toán

1- Trọng lượng đơn vị 1M của tấm đỉnh; 2- Hoạt tải của tầng tua bin; 3- Tải trọng bộ máy phát truyền đến

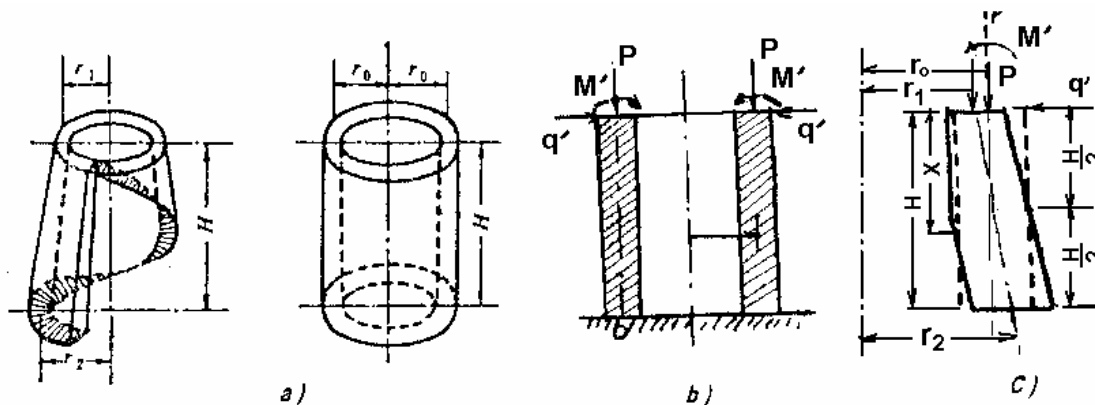
#### 4.4.3. Tính toán kết cấu ống hút

Ống hút của nhà máy thủy điện khi tính toán thường phân làm 3 phần : phần chóp cụt, khuỷu và phần loe.

##### 1) Tính toán phần chóp cụt

Phần chóp cụt được tính toán coi như là một vỏ hình trụ có chiều dày và chiều cao thay đổi, đầu trên phẳng, đầu dưới hình xoắn (hình 4-17a).





**Hình 4-17.** Sơ đồ Tính toán phần chóp cắt

Để lập sơ đồ tính toán người ta lấy đường kính tính toán bằng đường kính tiết diện trung bình của phần chóp cắt, chiều cao phần chóp cắt coi như không đổi và lấy bằng chiều cao lớn nhất  $H$  ở tiết diện vào buồng xoắn, chiều dày cũng lấy không đổi bằng chiều dày trung bình của phần chóp cắt, đầu dưới được ngàm vào đoạn khuỷu của buồng xoắn, đầu trên tựa tự do. Tải trọng tác động lên phần chóp cắt gồm : tải trọng thẳng đứng truyền từ buồng xoắn xuống qua vòng tựa stato của tua bin và áp lực thủy tĩnh tác dụng ngang (Hình vẽ 4-17b)

- *Áp lực tác động ngang*

Áp lực tác động bên ngoài chóp cắt bằng áp lực tĩnh cộng với áp lực nước và tính cho trường hợp trạm thủy điện vận hành đầy tải với mực nước thượng lưu hồ cao nhất. áp lực tác động bên trong chóp cắt bằng áp lực tĩnh hạ lưu. Hiệu số áp lực trong và ngoài chính là áp lực nước tác động theo phương ngang lên chóp cắt. Khi tính toán lấy trị số trung bình  $q = (q_1 + q_2)/2$ , giải theo lý thuyết đàn hồi và sử dụng hàm Crulốp ta dễ dàng tìm được mô men uốn và lực cắt.

Biểu thị quan hệ hàm Crulốp với

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3(1 - \mu^2)}{r_0^2 h}}$$

ta có mô men ở 1 điểm bất kì trên phần chóp cắt

$$M_x = q \cdot r_0 h \sqrt{\frac{1}{3(1 - \mu^2)}} \left[ -\bar{y}_3 + \frac{y_3 \cdot y_1 - y_2^2}{4 \cdot y_4 \cdot y_2 - y_1^2} \cdot \bar{y}_1 + \left( \frac{y_3}{y_2} - \frac{y_3 \cdot y_1 - y_2^2}{4 \cdot y_4 \cdot y_2 + y_1^2} \cdot \frac{y_1}{y_2} \right) \bar{y}_2 \right] \quad (4-44)$$

Mô men chỗ ngàm ( $x=0$ )

$$\left. \begin{aligned} M_x &= q \cdot r_0 \cdot h \sqrt{\frac{1}{3(1-\mu^2)}} \left[ \frac{y_3 \cdot y_1 - y_2^2}{4 \cdot y_4 \cdot y_2 + y_1^2} \right] \\ Q_{x=0} &= q \sqrt{\frac{r_0^2 - h^2}{3(1-\mu^2)}} \left[ \frac{4 y_3 \cdot y_4 - y_2 y_1}{4 \cdot y_4 \cdot y_2 + y_1^2} \right] \end{aligned} \right\} \quad (4-45)$$

Các hàm Crulốp lấy  $y_1, y_2, y_3, y_4$  là hàm của  $(\beta H)$ ;  $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{y}_3, \bar{y}_4$  là hàm của  $(\beta x)$  tra bảng

$r_0$  - bán kính trung bình hình trụ

$h$  - chiều dày hình trụ

$H$  - chiều cao

$\mu$  - hệ số Poát xông

#### - Tải trọng tác động thẳng đứng

Giả thiết  $P$  là lực tác động thẳng đứng truyền từ vòng tựa stato tua bin xuống đỉnh chóp cắt trên độ dài cung đơn vị. Lực này là lực nén tâm song do kết cấu hình chóp cắt, lực  $P$  đối với các mặt cắt từ đỉnh đến đáy tác dụng lệch tâm. Độ lệch tâm càng xuống càng lớn, đến đáy chóp cắt có độ lệch tâm là  $r_2 - r_1$  (hình 4-16c).

Như trên đã trình bày, để tiện tính toán người ta lấy đường kính tính toán bằng đường kính tiết diện trung bình và chiều dày lấy bằng chiều dày trung bình của phần chóp cắt để tính. Như vậy, hình chóp cắt được biến thành hình trụ có chiều dày không đổi, lực  $P$  tác động lên vành hình chóp cắt chuyển đến tâm vành hình trụ có bán kính trung bình  $r_0$ , đồng thời sinh ra mô men  $M'$  tác động lên đỉnh hình trụ (hình 4-17c).

$$M' = P(r_0 - r_1) ; r_0 = 0,5 (r_1 + r_2)$$

Vì lực  $P$  tác động lệch tâm đối với mỗi mặt cắt của chóp cắt, cho nên xét sự ảnh hưởng của nó có thể biểu thị bằng lực tác động nằm ngang  $q'$  lên độ dài cung đơn vị ở đỉnh chóp cắt bằng công thức:

$$q' = P(r_2 - r_1)/H$$

$r_1, r_2$  - là bán kính mặt cắt đáy và bán kính mặt cắt đỉnh chóp cắt;  $H$  - chiều cao chóp cắt

Sau khi đã chuyển đổi tải trọng tác động thẳng trên đỉnh chóp cắt thành lực nén tâm  $P$ , mô men  $M'$  và lực hướng ngang  $q'$  lên đỉnh hình trụ tiến hành tính toán nội lực. Đối với lực nén tâm  $P$  có thể dùng công thức trong cơ học kết cấu tính ứng suất nén. Mô men  $M'$  và lực  $q'$  dùng phương trình vi phân cơ bản của ống vỏ mỏng để tính nội lực. Nếu sử dụng hàm Crulốp, giải phương trình vi phân ta có:

$$\omega = \omega_0 y_1 + \frac{\theta_0}{\beta} y_2 + \frac{M_0}{D\beta^2} y_3 + \frac{Q_0}{D\beta^2} y_4$$

Trong công thức  $\omega_0$ ,  $\theta_0$ ,  $M_0$ ,  $Q_0$  tham số ban đầu, tương ứng với độ võng, góc quay, mô men và lực cắt tại toạ độ gốc ( $x=0$ )

Điều kiện biên: khi  $x=0$  (đầu ngàm)  $\omega_0=0$ ;  $\theta_0=0$

Ta được

$$\left. \begin{aligned} \omega_x &= \frac{M_0}{D\beta^2} \bar{y}_3 + \frac{Q_0}{D\beta^2} \bar{y}_4 \\ \theta_x = \omega_x' &= \frac{M_0}{D\beta^2} \bar{y}_2 + \frac{Q_0}{D\beta^2} \bar{y}_3 \\ M_x &= -D\omega_x'' = M_0 \bar{y}_1 - \frac{Q_0}{\beta} \bar{y}_2 \\ Q_x &= -D\omega_x''' = 4M_0 \beta \bar{y}_4 - Q_0 \bar{y}_1 \end{aligned} \right\} \quad (4-46)$$

Khi  $x=l$  (đỉnh trụ)

$M_H = M'$ ;  $Q_H = q'$

$$-M_0 \bar{y}_1 - \frac{Q_0}{\beta} \bar{y}_2 = M'$$

$$4M_0 \beta \bar{y}_4 - Q_0 \bar{y}_1 = q'$$

Giải phương trình ta tìm được tham số  $Q_0$ ,  $M_0$

$$\begin{aligned} Q_0 &= \frac{4\beta \bar{y}_4 M' + q' \bar{y}_1}{4\bar{y}_2 \bar{y}_4 + \bar{y}_1^2} \\ M_0 &= \frac{-\beta M' \bar{y}_1^2 + q' \bar{y}_2 \bar{y}_1}{4\beta \bar{y}_2 \bar{y}_4 + \beta \bar{y}_1^2} \end{aligned} \quad (4-47)$$

Thay  $Q_0$ ,  $M_0$  vào công thức có thể tìm nội lực và biến dạng các mặt cắt.

Khi tính toán cần phải xem xét tổ hợp tải trọng các trường hợp sau đây:

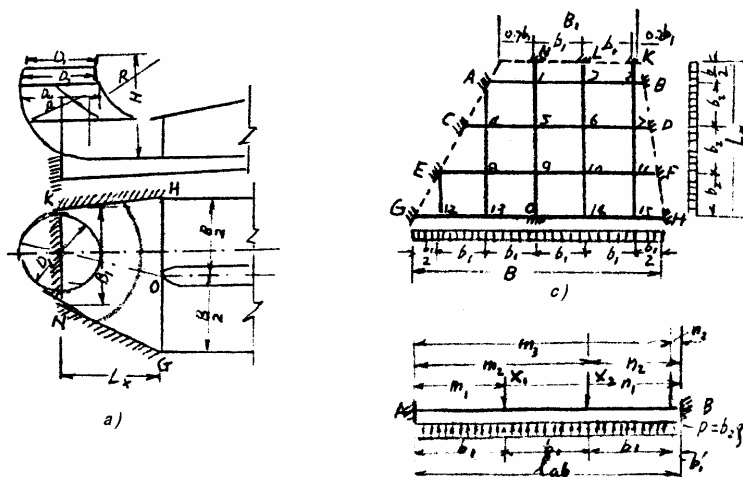
- Trạm thủy điện vận hành bình thường gồm tải trọng tác động thẳng đứng và áp lực thủy tĩnh có xét đến áp lực nước va.

- Trường hợp sửa chữa, lúc này cơ cấu tua bin đóng kín nước trong ống hút bơm cạn, phần chớp cắt không chịu áp lực nước, chỉ có tải trọng tác động thẳng đứng.

Dựa vào tổ hợp tải trọng tính toán nội lực phần chớp cắt, tính toán cấu kiện chịu nén lệch tâm để đặt cốt thép.

## 2. Phần khuỷu ống hút

Phần khuỷu ống hút có tám đáy thường là hình thang ngàm 3 cạnh vào khối bê tông tổ máy, cạnh thứ tư có 1 hoặc hai mố trụ bin (hình 4-18a)



**Hình 4-18.**

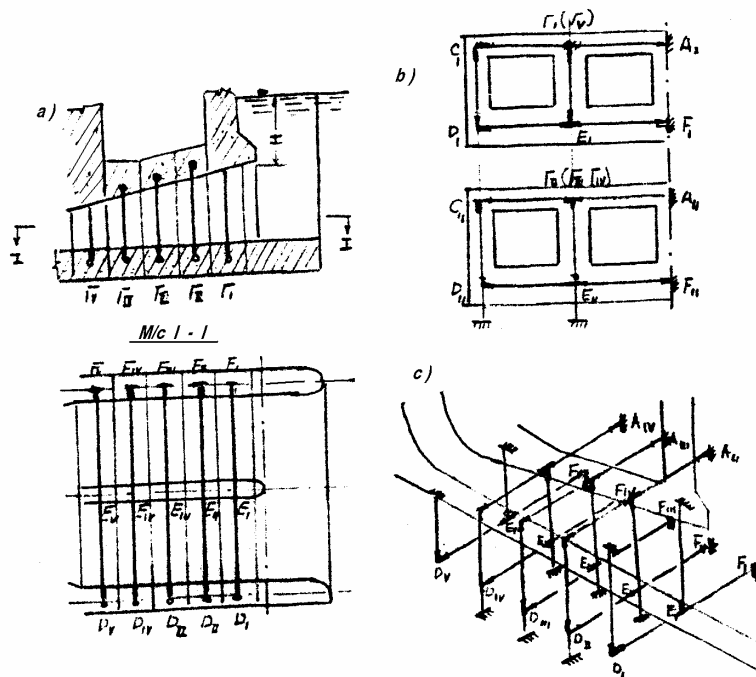
Sơ đồ tính toán tấm đáy ống hút

Tải trọng trên tấm đáy phân bố đều là tổng đại số trọng lượng bản thân công trình, trọng lượng nước trong ống hút, áp lực đẩy nổi và thấm, phản lực nền. Thường phản lực nền có trị số lớn nhất vì thế tải trọng hướng từ dưới lên trên. Vì tấm đáy có dạng không đối xứng nên tốt nhất là tính theo phương pháp hệ dầm chữ thập (hệ dầm trực giao). Có nghĩa là chia tấm đáy thành các hệ dầm ngang dọc giao nhau vuông góc (hình 4-17b). Dựa vào điều kiện độ võng bằng nhau tại điểm cắt  $y_i^{ng} = y_i^{dọc}$  ( $y_i^{ng}$ ,  $y_i^{dọc}$  là độ võng tại điểm cắt theo hướng ngang và theo hướng dọc), tìm được lực tác dụng tương ứng  $X_i$ , trên cơ sở đó xác định được nội lực của dầm.

Ví dụ dầm AB (hình 4-17c) do tải trọng  $p(p=q.b_2)$  và các lực tác dụng  $X_1, X_2, X_3$  tại các điểm 1 sinh ra độ võng  $y_{1p}$  và  $y_{11}, y_{12}, y_{13}$ . Tổng độ võng tại điểm 1 theo hướng ngang  $y_1^{AB} = y_{1p} + y_{11} + y_{12} + y_{13}$ . Tương tự độ võng tại các điểm 2 và 3,  $y_2^{AB}$ ,  $y_3^{AB}$  và các dầm CD, EF, GH cũng tìm như vậy. Sau đó tìm độ võng của các dầm dọc E-12, A-13, L-14, K-15. Dựa vào các điều kiện độ võng bằng nhau tại điểm cắt thành lập hệ phương trình (với sơ đồ trên gồm 15 phương trình) tìm được lực tác dụng tương ứng  $X_i$  (15 lực). Sau đó tìm nội lực của dầm. Để tiện tính toán đã có các bảng lập sẵn trong các sách kết cấu.

### 3. Phần loe của ống hút

Phần loe của ống hút là một kết cấu không gian hình hộp, gồm tấm đỉnh, bảng đáy, trụ bên (trụ chính) và trụ giữa của ống hút. Có chiều cao thay đổi và tiết diện ngang có dạng khung với các ô vuông (hình 4-19).



**Hình 4-19.**

*Sơ đồ tính toán phần loe ống hút*

Chịu tác động của tải trọng truyền từ trên xuống, trọng lượng bản thân và áp lực nước thủy tĩnh, phản lực nền, áp lực thấm và lực đẩy nổi.

Có hai phương pháp tính toán phần loe ống hút: Phương pháp thứ nhất là cắt ngang phần loe ống hút thành các khung có chiều cao thay đổi và tính như một khung phẳng không xét đến sự ảnh hưởng của khung nằm bên, tức là không kể đến sự ảnh hưởng của lực cắt giữa các khung. Đây là bài toán phẳng, giải các khung này có thể dùng các bảng đã lập sẵn cho trong sách kết cấu.

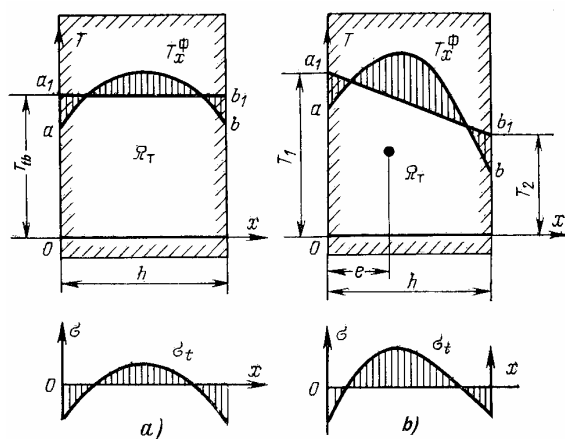
Phương pháp thứ hai có xét đến tác dụng liên kết không gian giữa các khung, tức là xét đến sự ảnh hưởng của lực cắt giữa các khung lân cận và có tính đến tác dụng của góc cứng.

Để kết quả tính toán sát với thực trạng, khi tính phần loe ống hút theo sơ đồ khung cắt cần phải xác định độ cứng dầm trên như khung  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_5$  có kể đến độ cứng của các tường thẳng đứng nằm trên tầng ống hút, còn các khung cắt  $\Gamma_2$ ,  $\Gamma_3$ ,  $\Gamma_4$  do kết cấu dầm trên có độ dày mỏng. Do đó, sơ đồ tính toán các dạng khung cắt cũng khác nhau (hình 4-19) khi tính toán xem các góc khung không thể có biến vị thẳng đứng và nằm ngang mà chỉ có khả năng bị quay. Đoạn ở góc khung là tuyệt đối cứng, đoạn nhịp không gian là dễ uốn (hình 4-18c)

Phương pháp tính theo khung không gian cho kết quả chính xác hơn, song đòi hỏi khối lượng tính toán lớn và phức tạp thường dùng công cụ máy tính. Ống hút của nhà máy thủy điện thường tính toán cho 2 trường hợp vận hành đầy tải và sửa chữa. Với việc tính toán độ bền chung của nhà máy theo phương dọc và phương ngang và tính độ

bên cục bộ ta giải quyết toàn bộ bài toán xác định ứng lực trong các phần tử của nhà máy ở từng giai đoạn xây dựng và vận hành.

#### 4.5. KHÁI NIỆM VỀ ỨNG SUẤT NHIỆT TRONG CÁC BỘ PHẬN NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN



**Hình 4-20.** Biểu đồ phân bố nhiệt độ và ứng suất trong tiết diện bê tông

*a- Nhiệt độ môi trường xung quanh giống nhau; b- Nhiệt độ môi trường xung quanh khác nhau*

Ứng suất nhiệt sinh ra do nhiệt độ của môi trường xung quanh thay đổi (nước hoặc không khí) và do sự toả nhiệt của bê tông trong các phần tử của nhà máy. Ngoài ra trong bê tông còn có hiện tượng biến dạng co ngót khi bắt đầu đông cứng. ứng suất trong các phần tử kết cấu do biến dạng về nhiệt và co ngót không giống nhau, nó phụ thuộc vào kết cấu công trình và thời kì xây dựng. Xác định ứng suất nhiệt có ý nghĩa rất quan trọng trong việc tính toán độ bền của kết cấu. Nói chung nhiệt độ do toả nhiệt và do môi trường thay đổi trong các tiết diện bê tông phân bố theo đường cong (hình 4-20)

Biểu đồ nhiệt có thể biểu thị bằng đường trung bình (đường thẳng  $a_1b_1$ ) và đường cong (đường  $ab$ ). Tung độ của nó là hiệu số của đường cong  $\phi_x$  và đường trung bình. ứng suất nhiệt trong các khối lớn không bị ngàm theo đường viền và trong các kết cấu tĩnh định do biểu đồ nhiệt không đều gây ra gọi là ứng suất nhiệt "bản thân". Còn trong các khối lớn bị ngàm giữ theo đường viền và trong các hệ siêu tĩnh với bất kì sự phân bố nhiệt độ nào cũng gây ra ứng suất nhiệt gọi là ứng suất nhiệt cưỡng bức.

Trong thời kì xây dựng nhà máy thủy điện có thể có hai loại ứng suất nhiệt kể trên. Song khi chia khối đỡ và đỡ liên khối người ta cố gắng làm giảm trị số ứng suất cưỡng bức. Vì vậy việc lựa chọn kích thước khối đỡ và xác định sơ đồ tối ưu xây dựng là một nhiệm vụ quan trọng trong giai đoạn thiết kế. Trong giai đoạn xây dựng ở nhà máy thủy điện chủ yếu sẽ có ứng suất nhiệt bản thân trong những tháng đầu sau khi đổ bê tông. Nhà máy thủy điện là một kết cấu siêu tĩnh nên trong thời kì vận hành sẽ có ứng suất nhiệt cưỡng bức. Đối với nhà máy thủy điện cần tính toán ứng suất nhiệt cho những trường hợp sau đây:

+ Giai đoạn xây dựng I: Xác định ứng suất nhiệt co ngót nếu sinh ra trong khoảng thời gian từ 1 đến 3 tháng đầu sau khi đổ bê tông trong các khối tĩnh định, tức là ứng suất nhiệt bản thân. Tính toán này nhằm phục vụ cho việc xác định kích thước khối đỡ và chọn quy trình xây dựng công trình.

+ Giai đoạn xây dựng II: Xác định ứng suất nhiệt cường bức trong kết cấu siêu tĩnh ở giai đoạn liên khối. Tính toán này nhằm phục vụ cho việc xác định nhiệt độ tối ưu cho việc đổ liên khối của thành phần công trình. Hiệu số của nhiệt độ đổ liên khối và nhiệt độ bình quân nhiều năm là nhiệt độ tính toán. Nếu nhiệt độ đổ liên khối gần bằng nhiệt độ bình quân nhiều năm thì ứng suất nhiệt này gần như không có.

+ Giai đoạn vận hành: Xác định ứng suất nhiệt cường bức trong các kết cấu siêu tĩnh của nhà máy thủy điện trong điều kiện tính toán bê tông đã ổn định. Tính toán này phục vụ cho việc xác định độ bền của nhà máy dưới tác động của ứng suất nhiệt, đồng thời phải kiểm tra việc đặt cốt thép với ứng suất này.

Ứng suất nhiệt của các trường hợp xây dựng không quyết định việc đặt cốt thép mà chỉ quyết định kích thước khối đỡ.

#### 4.6. DẦM CẦU TRỤC NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN

Dầm cầu trục có thể bằng thép hoặc bằng bê tông cốt thép dự ứng lực. Nhưng xu hướng dùng bê tông cốt thép dự ứng lực được dùng rộng rãi. Khi thiết kế dầm cầu trục phải đề cập đến các yếu tố của quá trình thao tác bất lợi nhất. Dầm cầu trục có thể là dầm đơn nhiều nhịp hoặc dầm liên kết với cột tạo thành khung.

##### 4.6.1. Tải trọng dầm cầu trục

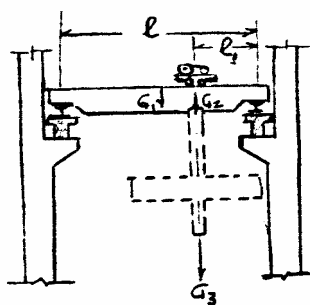
###### 1. Trọng lượng bản thân

Trọng lượng bản thân căn cứ vào mặt cắt của dầm để tính toán, ray đặt trên dầm và các linh kiện khác do xưởng cung cấp. Thường bước đầu tính toán sơ bộ lấy từ 150-200 kg/m.

###### 2. Áp lực thẳng đứng của bánh xe

Như hình 4-21. Tùy theo kiểu loại và số bánh xe con  $m$  của mỗi hướng (thường  $m=2$ ). áp lực thẳng đứng lớn nhất của mỗi bánh xe tính theo công thức sau:

$$P = \frac{1}{m} \left( \frac{1}{2} G_1 \cdot n_1 + G_2 \cdot n_2 \cdot \frac{l - l_1}{l} + G_3 \cdot n_3 \cdot \frac{l - l_1}{l} \right) \quad (4-48)$$



**Hình 4-21.** Mặt cắt ngang gian máy thể hiện cầu trục

Trong đó:

$G_1, n_1$ - trọng lượng cầu trục và hệ số vượt tải  $n_1 = 1,1$ .

$G_2, n_2$ - trọng lượng xe con và hệ số vượt tải  $n_2 = 1,1$ .

$G_3, n_3$ - trọng lượng vật cầu và hệ số vượt tải  $n_3 = 1,3$ .

$l$ - khẩu độ cầu trục

$l_1$ - khoảng cách giới hạn từ móc cầu đến dầm cầu trục

$G_1, G_2$  do xưởng chế tạo cung cấp ;  $G_3$  trọng lượng vật nâng căn cứ vào trọng lượng thiết bị nâng nặng nhất (rô to máy phát hoặc tua bin cùng với trục)

Công thức trên khi tính toán cần phải nhân thêm hệ số động lực  $\eta$  :  $P = \eta P_0$  với móc nhỏ loại nhẹ và vừa  $\eta = 1,2$  với móc loại nặng  $\eta = 1,3$ .

### 3. Lực tác dụng ngang

Khi xe con di động ngang nhà máy đột nhiên hãm sinh ra lực ngang tác dụng vuông góc với dầm cầu trục. Lúc này làm cho dầm cầu trục bị uốn cong. Lực hướng ngang tính theo công thức sau:

Đối với móc nhỏ:

$$T_o = \frac{G_2 + G_3}{20 \text{ m}} \cdot 1,3 \quad (4-49)$$

Đối với móc lớn:

$$T_o = \frac{G_2 + G_3}{10 \text{ m}} \cdot 1,3 \quad (4-50)$$

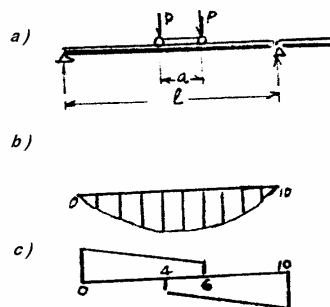
Trong đó :  $G_2, G_3$  - trọng lượng xe con và trọng lượng vật nâng;  $m$  - số bánh xe một bên; 1,3- hệ số vượt tải

## 4.6.2. Tính toán nội lực dầm cầu trục

### 1. Dầm đơn chịu áp lực thẳng đứng

Tính toán nội lực của dầm theo phương pháp cơ học kết cấu

Từ sơ đồ hình 4-22, dưới tác dụng của lực thẳng đứng, mô men ở điểm giữa và lực cắt ở đoạn 0,4.1 và 0,6.1 và ở đầu dầm tính theo công thức sau:



$$M_{l/2} = k_1 \cdot P \cdot l$$

$$Q_0 = k_0 \cdot P$$

$$Q_{0,6.1} = - Q_{0,4.1} = k_6 \cdot P$$

Trong đó :

$P$ : áp lực bánh xe lớn nhất tác dụng lên dầm (có tính đến hệ số vượt tải)

$l$ : khẩu độ dầm

$k_1, k_0, k_6$  : hệ số mô men và hệ số lực cắt dựa vào tỷ số  $a/l$  tìm được trong các bảng tra kết cấu.

**Hình 4-22.**

Sơ đồ dầm liên tục

### 2. Dầm liên tục chịu áp lực thẳng đứng

Dầm liên tục do vị trí áp lực bánh xe tác động không giống nhau nên nội lực cũng không giống nhau. Vì vậy, cần phải tìm sơ đồ nội lực bất lợi nhất để tính. Như dầm liên tục 5 nhịp, khi trên dầm tác dụng một lực xe nâng hoặc hai bộ xe nâng giống nhau (mỗi bộ xe mỗi bên hai bánh). Có thể dùng công thức dưới đây để tìm mô men lớn nhất và mô men nhỏ nhất ở các điểm trong nhịp



$$M = k_1 \frac{Pl}{1000} \quad (4-51)$$

Trong đó :

P - áp lực bánh xe

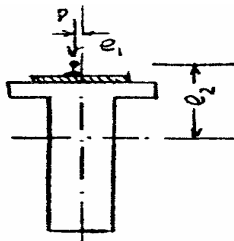
L - khẩu độ nhịp

$k_1$ - hệ số mô men dựa vào tỷ số  $a/l$  tra ở bảng tra kết cấu

Đối với mô men uốn chịu tải trọng phân bố đều và lực cắt trong trường hợp tác dụng một bộ xe nâng hoặc hai bộ xe nâng có thể dựa vào các bảng tra kết cấu để tìm.

### 3. Tính mô men xoắn cho dầm cầu trục.

Mô men xoắn phát sinh do độ lệch tâm  $e_1$  của áp lực thẳng đứng P đối với tâm của dầm và độ lệch tâm  $e_2$  của áp lực tác dụng ngang tính từ trọng tâm của mặt cắt dầm đến đỉnh ray như trên hình vẽ 4-23. Tính theo công thức dưới đây:



**Hình 4-23.**

Mặt cắt dầm cầu trục

$$M = 0,9 (P \cdot e_1 + T_0 \cdot e_2)$$

Trong công thức:

P- áp lực nén của bánh xe hướng thẳng đứng

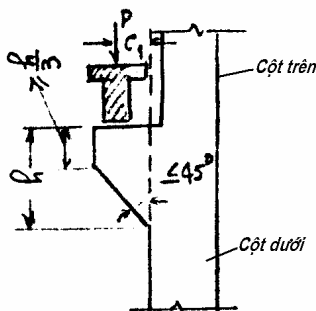
$T_0$  - áp lực tác dụng ngang

$e_1$ - độ lệch tâm

của lực P thường  $e_1 = 2 \text{ cm}$

$e_2$  - khoảng cách lệch tâm của lực  $T_0$

0,9- hệ số tổ hợp tải trọng đồng thời của lực ngang và mô men.



**Hình 4-24.**

Gối đỡ dầm cầu trục

### 4. Sơ bộ xác định kích thước dầm cầu trục

Mặt cắt dầm cầu trục tính cho trạng thái giới hạn. Nội dung tính toán bao gồm sức chịu tải, độ võng và độ nứt nẻ cho phép.

Mặt cắt dầm cầu trục thường hình chữ T, chiều cao dầm thường bằng 1/7 - 1/10 chiều dài nhịp, chiều rộng thân dầm bằng 1/2-1/4, chiều cao thường từ 25-40 cm. Chiều dày của cánh 1/6-1/10 chiều cao, nhưng không được nhỏ hơn 10 cm. Chiều rộng cánh ngoài tác dụng chịu lực còn phải xét đến việc đặt đường ray và các thiết bị gia cố ray.

### 5. Một số kích thước có bản của khung nhà máy

Mặt cắt cột đỡ dầm cầu trục thường hình chữ nhật

+ Khi sức nâng dầm cầu trục dưới 10 tấn

$$h/H_d \geq 1/12 - 1/14$$

+ Khi sức nâng dầm cầu trục trên 10 tấn

$$h/H_d \geq 1/10 - 1/12$$

h- chiều dài mặt cắt cột

còn chiều rộng b của cột thường  $b/H_d \geq 1/25$

$H_d$ - chiều cao cột tính từ đáy dầm cầu trục trở xuống.

Để bảo đảm mặt cắt cần thiết đỡ dầm cầu trục yêu cầu  $b \geq 45$  cm. Khi tải trọng dầm cầu trục trên dưới 100T mặt cắt cột thường dài 100 -120 cm rộng 50-60 cm.

Gối đỡ dầm cầu trục theo mặt cắt ngang là hình thang vuông (hình 4-24) cạnh xiên hợp với biên cột một góc  $45^\circ$ . Chiều cao gối  $h_0$  thường bằng  $1/2-2/3$  chiều dài mặt cắt cột, nhưng phải lớn hơn  $1/3$  chiều cao gối sát mặt cột là  $h_0$ . Lực tập trung lớn nhất tác dụng vào gối đỡ và truyền xuống cột nhà máy, vì vậy kích thước mặt cắt và lượng cốt thép phải đủ để đảm bảo cường độ chịu tải.

Gối đỡ chịu lực như một dầm công xôn ngắn lực cắt lớn nhưng mô men nhỏ. Do đó kích thước mặt cắt của gối do lực cắt quyết định. Khi thiết kế thường do các điều kiện dưới đây quyết định

Đối với xe nâng loại vừa xác định theo điều kiện:

$$Q \leq 2.b.h_0.R_p$$

Đối với xe nâng loại lớn xác định theo điều kiện:

$$Q \leq b.h_0.R_p$$

Trong đó:

Q - lực cắt tính toán bằng lực P

B - Chiều rộng gối đỡ

$h_0$  - chiều cao tính toán của gối đỡ

$R_p$  - cường độ tính toán bê tông

#### **Câu hỏi chương 4**

1. Các tổ hợp tải trọng tác dụng vào nhà máy thủy điện và các trường hợp tính toán bền và ổn định nhà máy thủy điện.
2. Nguyên lý chung để tính toán ổn định chống trượt nhà máy thủy điện, trường hợp tính toán với nhà máy thủy điện ngang đập.
3. Các phương pháp tính toán kiểm tra ứng suất đáy móng nhà máy thủy điện.
4. Nguyên lý tính toán độ bền nhà máy thủy điện: Độ bền chung của các kết cấu nhà máy thủy điện theo các phương dọc theo dòng chảy và vuông góc với dòng chảy.

## **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

### **Tiếng việt**

1. “ Giáo trình thủy năng” Bộ môn Thủy điện Trường đại học thủy lợi, Nxb. Nông thôn, Hà nội 1974.
2. “ Giáo trình Turbin thủy lực” Bộ môn Thủy điện Trường đại học thủy lợi, Nxb. Nông thôn, Hà nội 1974.
3. “ Giáo trình Công trình trạm thủy điện tập I ” Bộ môn Thủy điện Trường đại học thủy lợi, Nxb. ĐHTL, Hà nội 1972.
4. “ Giáo trình Công trình trạm thủy điện tập II” Bộ môn Thủy điện Trường đại học thủy lợi, Nxb. ĐHTL, Hà nội 1972.
5. “ Giáo trình Thủy điện dành cho tại chức” Bộ môn Thủy điện Trường đại học thủy lợi, Nxb. ĐHTL, Hà nội 1972.
6. “ Tài liệu chọn thiết bị trạm thủy điện” Bộ môn Thủy điện Trường đại học thủy lợi, Nxb. ĐHTL, Hà nội 1975.
7. P.P. Argunốp “ Trạm thủy điện-Nguyên lý sử dụng năng lượng nước”., Bộ môn Thủy điện, ĐH Xây dựng Hà nội 1968 - Tài liệu dịch.
8. Lê Phu - Tuốc bin nước , Tủ sách ĐH Xây dựng , Hà nội 1971.
9. Nguyễn Trọng Bằng, Hoàng Đình Dũng, Vũ Hữu Hải – Thủy năng và điều tiết dòng chảy, Nxb. Xây dựng, Hà nội 2000.
10. Chế độ chuyển tiếp trong đường dẫn có áp và tổ máy Thủy điện - Tuyển tập công trình khoa- Hội nghị cơ học toàn quốc lần thứ 5. Tác giả Hồ Sĩ Dự (Quyển 4 Cơ học chất lỏng, chất khí 1993.)
11. ứng dụng phương pháp Niuton - Rafson để giải bài toán biên của quá trình chuyển tiếp trong tổ máy Thủy điện. Tác giả Hồ Sĩ Dự (Nội san khoa học ĐHTL tháng 9 năm 1995).
12. “ Tiêu chuẩn Việt nam- Công trình thủy lợi. Các quy định chủ yếu về thiết kế”. TCVN 5060-90, Hà nội 1990.
13. Quy phạm Việt nam- Kênh dẫn nước thủy điện. TCVN 5060-90, Hà nội 1990.
14. Sổ tay thủy lợi - Tập IV. Công trình thủy công. Nxb. Khoa học KT, Hà nội 1982.
15. Trữ năng lý thuyết các hệ thống sông suối Việt nam . Đề tài cấp Nhà nước mã số : 06-02-06-01 Phan Kỳ Nam Đại học Thủy lợi 1986.
16. Dự báo và chiến lược khoa học kỹ thuật về năng lượng Việt Nam đến năm 2010, Hà học Trạc, Trần Đình Long, Phan Kỳ Nam, Đình Hoài, Tạ Ngọc Hà,-( Phạm Văn Huân)và các tác giả khác.Tiểu ban nghiên cứu chiến lược Khoa học và kỹ thuật .Nhóm Năng lượng - nhiên liệu . Hà nội 1985.

## **Tiếng Nga**

17. V.V. Berlin - Điều chỉnh mômen turbin tâm trục làm việc trong hệ thống điện lực, Tuyển tập công trình KH No 131 MICI, 1982.
18. G.I. Kriptrenco - Điều chỉnh tự động turbin thủy lực. Nxb. Năng lượng Mát-xcơ-va, 1964.
19. Nghiên cứu quá trình chuyển tiếp của trạm Thủy điện tích năng với tổ máy thuận nghịch trên máy tính số. Tác gi Arsenhepski N.N , Kripchenco G.I., Xotnikov G.G.,( NXB: Xây dựng , 1985,).
20. V.V. Berlin - Xây dựng đường đặc tính tổng hợp của turbin trong điều kiện thí nghiệm hiện trường. Tuyển tập công trình khoa học No131, ĐH XD Mátcva, 1976.
21. Vaxiliev Iu.X., Vixarionov V.I., Kubuskin L.I. Giải các bài toán ứng dụng trong thủy điện trên máy tính. N.x.b. Năng lượng Matskva, 1987.
22. Bộ năng lượng Liên xô . Hướng dẫn thiết kế chế độ điều chỉnh trạm thủy điện. N.x.b. Năng lượng Matskva, 1977.
23. D.C. Savelep- Công trình thủy điện. N.x.b. Năng lượng Leningrat, 1972.
24. D.C. Savelep- Sử dụng năng lượng nước. N.x.b. Năng lượng Leningrat, 1972.
25. V.A. Karelin, G.I.Kripchenco- Trạm thủy điện. N.x.b. Năng lượng Matskva, 1987.
26. F.F. Gubin, G.I.Kripchenco- Trạm thủy điện. N.x.b. Năng lượng Matskva, 1980.
27. G.I.Kripchenco- Quá trình chuyển tiếp trong công trình thủy điện. N.x.b. Năng lượng Matskva, 1975.
28. Oplôp V.A. Tháp điều áp của trạm thủy điện, . N.x.b. Năng lượng Matskva, 1968.
29. arsenepski N.N., Pospelôp B.B. Quá trình chuyển tiếp của trạm thủy điện. . N.x.b. Năng lượng Matskva, 1977.
30. Kovalep N.N. Sổ tay về turbin. N.x.b. chế tạo máy Lêningrat, 1984.
31. Kiselep P.G. Sổ tay tính toán thủy lực. N.x.b. Năng lượng Matskva, 1974.

## **Tiếng Trung quốc**

32. “ Công trình trạm thủy điện” Đại học Thủy lợi điện lực Vũ hán, Đại học Triết giang, Nxb Thủy lợi thủy điện Trung Quốc. Bắc kinh 1996.
33. “ Công trình trạm thủy điện” Đại học Hải hà, Nxb Thủy lợi điện lực Trung Quốc . Bắc kinh 1992.
34. “ Trạm thủy điện nhỏ “ Học viện thủy lợi điện lực Vũ hán, Đại học Hải hà, Nxb Thủy lợi điện lực Trung Quốc . Bắc kinh 1990.

35. “ Trạm thủy điện “ Đại học công nghiệp Tây an , Học viện công trình thủy điện Cát châu bá, Nxb Thủy lợi điện lực Trung Quốc. Bắc kinh 1994.
36. “ Sổ tay thiết kế thủy công - Phần công trình thủy điện” Học viện Thủy lợi Hoa đông, Nxb Thủy lợi điện lực Trung Quốc. Bắc kinh 1989.
37. “ Công trình trạm thủy điện ” Học viện Thủy lợi điện lực Vũ hán , Đại học Thiên tân, Nxb Công nghiệp Trung Quốc. Bắc kinh 1961.
38. “ Trạm thủy điện ” Đại học công nghiệp Thiểm Tây, Nxb Công nghiệp Trung Quốc. Bắc kinh 1961.

