

Chương 5

HỆ THỐNG CẤP THÁO NƯỚC VÀ TÍNH TOÁN THỦY LỰC KHI CẤP THÁO

PHẦN A: HỆ THỐNG CẤP THÁO NƯỚC.

5.1. Tính chất của hệ thống cấp tháo nước.

5.1.1. Định nghĩa:

Hệ thống cấp tháo nước là tất cả những thiết bị và cấu tạo trong âu nhằm phục vụ cho việc cấp tháo nước buồng âu.

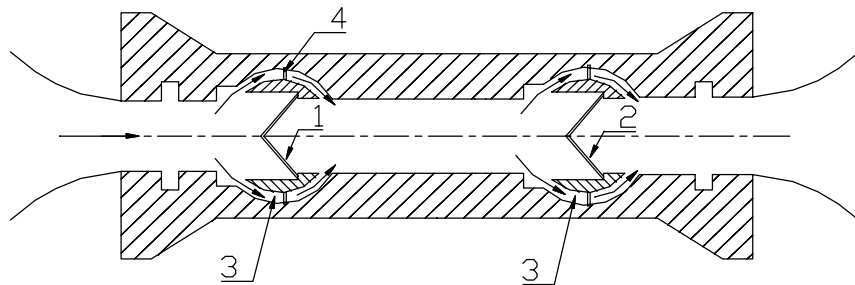
Người ta còn gọi hệ thống cấp tháo nước là hệ thống các ống dẫn nước.

5.1.2. Phân loại:

Tùy theo cách bố trí các ống dẫn nước mà ta chia ra làm hai loại:

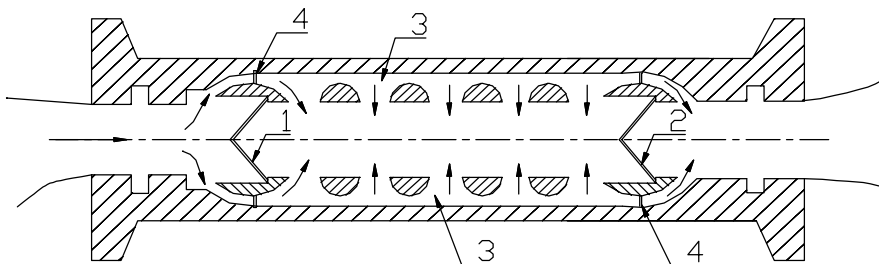
+ Hệ thống cấp tháo nước tập trung: việc cấp tháo nước thực hiện ở đầu âu.(Hình 5.1).

+ Hệ thống cấp tháo nước phân tán: việc cấp tháo nước được thực hiện trên toàn bộ chiều dài âu (hình 5.2).



Hình 5.1: Hệ thống cấp tháo nước tập trung.

- 1- Cửa âu trên. 3- Ống dẫn nước
2- Cửa âu dưới. 4-Van đóng mở.



Hình 5.2: Hệ thống cấp tháo nước phân tán.

- 1- Cửa âu trên. 3-Ống dẫn nước.
2- Cửa âu dưới. 4-Van cấp tháo.

Tùy theo kết cấu và cách bố trí của các ống dẫn nước mà trong 2 loại trên lại phân ra những loại khác nhau nữa.

5.1.3. Tính chất thủy lực của hệ thống cấp tháo nước.

Khi cấp tháo nước, mực nước trong buồng âu dâng lên dần dần hoặc thụt xuống dần. Lưu lượng dọc theo chiều dài buồng âu thì khác nhau, vận tốc dòng nước cũng khác nhau.

Lưu lượng chảy qua hệ thống cấp tháo nước cũng thay đổi dần, dòng nước chảy trong hệ thống cấp tháo nước là dòng chảy không đều, không ổn định, cộng với những hiện tượng thủy lực cục bộ gây nên một lực thủy động đối với tàu đỗ trong buồng âu và cả đối với tàu nằm trong kênh dắt tàu, vì vậy tàu đậu trong âu khi cấp tháo nước phải buộc vào các trụ buộc tàu cố định hoặc di động.

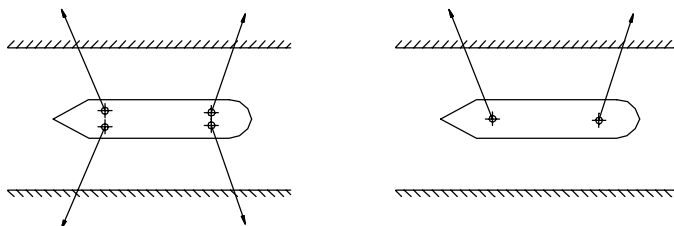
Chú ý:

- Khi cấp nước vào buồng âu phải cuộn ngắn dây buộc lại để tàu không bị lỏng quá mức.

- Khi tháo nước khỏi buồng âu phải nới dây để tàu khỏi bị treo lơ lửng, dây sẽ đứt do trọng lượng của tàu.

- Khi buộc tàu vào trụ di động, thì khi cấp tháo nước trụ tàu lên xuống theo mực nước, lúc đó tàu chỉ chịu lực ngang và một phần lực nghiêng.

- Tùy theo khoảng cách dự trữ giữa tường buồng âu và tàu ta có thể buộc tàu cả hai bên hoặc một bên (hình 5.3).



Hình 5.3: Buộc tàu vào trụ cố định.

Tiêu chuẩn đánh giá về độ an toàn cho tàu bè qua âu, vận tốc hợp lý, phương pháp cấp tháo nước thích hợp chính là độ lớn của các lực nằm ngang tác dụng lên tàu. Các lực này được tạo lên do động năng của dòng nước cấp tháo, do sóng, do độ dốc mặt nước và các hiện tượng khác (nói chung là các hiện tượng thủy lực).

Các lực tác dụng vào tàu đỗ trong âu có thể phân chia thành hai thành phần:

+ Thành phần lực dọc: song song với trục âu.

+ Thành phần lực ngang: vuông góc với trục âu.

Do tác dụng của những thành phần lực này mà tàu nếu không được neo buộc cẩn thận sẽ bị lắc chuyển động, tàu có thể va vào tường buồng âu hoặc xô vào cửa âu, làm hỏng trang thiết bị cửa âu, thậm chí hỏng cả tàu. Để tránh được sự nguy hiểm này ta phải giới hạn sự chuyển dịch của tàu.

Khi đánh giá về độ an toàn của tàu bè qua âu người ta lấy thành phần lực dọc làm căn bản, bởi vì nó gây nên chuyển động theo hướng va vào tàu khác và va vào các trang thiết bị nhạy cảm nhất của âu (cửa), còn thành phần lực ngang thường được chặn lại bằng các kết cấu đệm chống va, nó ít gây ảnh hưởng đến sức căng của dây buộc tàu.

Khi cấp tháo nước buồng âu, chiều tác dụng của lực dọc cũng thay đổi nên tàu phải được neo buộc bằng 2 dây, một dây chống chuyển động về phía thượng lưu, một dây chống chuyển động về phía hạ lưu.

Mỗi một dây buộc tàu phải có khả năng chịu được lực tác dụng lớn nhất (vì tại một thời điểm nào đó, lực thủy động truyền tới 90% vào dây buộc tàu).

Độ lớn của lực kéo trong dây buộc tàu không chỉ phụ thuộc vào chế độ thủy lực khi cấp tháo nước, mà còn phụ thuộc vào phương pháp buộc tàu, kiểu thiết bị buộc tàu...

Do ảnh hưởng của lực quán tính tàu chuyển động, lực dọc ban đầu sẽ tăng lên và lực kéo trong dây buộc tàu cũng tăng theo.

Theo kết quả đo thực tế ở một số âu tàu (Tiệp Khắc, Liên Xô cũ) thì lực quán tính do chuyển động của tàu phát sinh là 20% và thường không vượt quá 30 ÷ 35% giá trị lực dọc ban đầu tác dụng lên tàu. Như vậy lực dọc lớn nhất là:

$$P' = 1,35P \quad (5-1).$$

Lực kéo trong dây buộc tàu luôn luôn lớn hơn lực dọc P' vì dây buộc tàu tạo với trục âu một góc α : $R = \frac{1,35P}{\cos \alpha}$.

Góc α có giá trị từ $20 \div 40^0$, vậy lực kéo lớn nhất trong dây buộc tàu là:

$$R_{\max} = \frac{1,35P}{\cos \alpha_{\max}} = \frac{1,35P}{\cos 40^0} = 1,75P \quad (5-2)$$

Khi đánh giá điều kiện an toàn cho tàu bè qua âu, trong thực tế có một quan điểm chung là giá trị lực kéo lớn nhất trong dây buộc tàu không được vượt quá giá trị cho phép R_{cf} .

R_{cf} là hàm số của trọng tải tàu W . Quan hệ giữa R_{cf} và trọng tải tàu được biểu thị bằng phương trình:

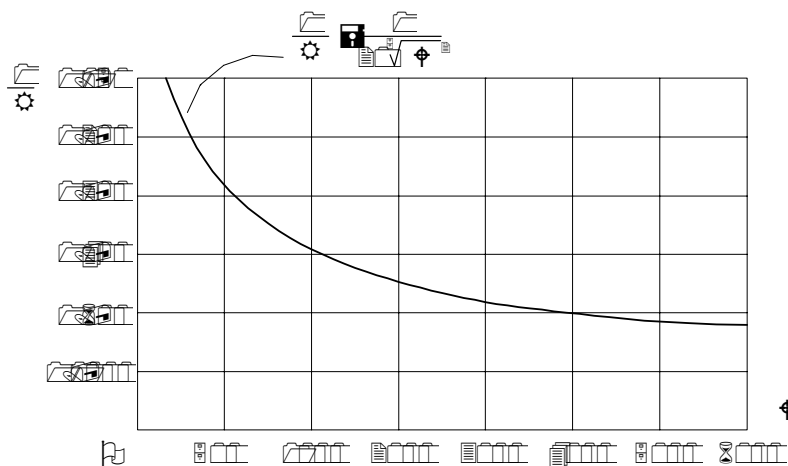
$$\frac{1}{R} = \frac{R_{cf}}{W} \rightarrow R_{cf} = \frac{W}{R} \quad (5-3)$$

Giá trị tuyệt đối của lực kéo cho phép R_{cf} trong dây buộc tàu sẽ lớn lên khi trọng tải của tàu lớn lên, nhưng giá trị tương đối $\frac{R_{cf}}{W}$ thì ngược lại (sẽ bé đi). Quan hệ đó có thể biểu thị bằng công thức thực nghiệm.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{20\sqrt{W^2}} = \left[\frac{1}{n} \right] \quad (5-4)$$

n : chỉ số của dây buộc tàu.

Quan hệ (5-4) được biểu diễn ở hình (5-4)



Hình 5.4: Quan hệ $\frac{1}{R} \approx \frac{1}{20\sqrt{W^2}}$

Dựa vào tài liệu thực đo (N.A. Sêmanôp) đã tìm ra lực kéo trong dây buộc tàu là:

$$R = \alpha \sqrt[3]{W^2} \quad (5-5)$$

α : hệ số thay đổi với từng âu khác nhau: $\alpha = 0,013 \div 0,031$.

5.1.4. Lực dọc P tác dụng lên tàu trong âu.

Lực dọc P tác dụng lên tàu trong âu được xác định:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \quad (5-6)$$

5.1.4.1. Thành phần P_1 :

Thành phần P_1 có là do tác dụng của dòng nước: Dòng nước chảy vào âu theo hướng từ đầu tàu dọc thân tàu đến cuối tàu và dọc đáy tàu, thành phần này được tạo nên do lực cản đường dòng của tàu.

Sử dụng công thức Zvôncôp:

$$P_1 = k \cdot O_t \left(\frac{Q}{f_a - f_t} \right)^{1,83} + \varphi \cdot \delta \cdot f_t \cdot \frac{Q^2}{f_a^2} \quad (T) \quad (5-7)$$

Trong đó:

k: hệ số ma sát của nước với bề mặt tàu.

$k = 0,17 \cdot 10^{-3}$ đối với tàu vỏ thép.

$k = 0,25 \cdot 10^{-3}$ đối với tàu vỏ gỗ.

δ : hệ số chỗ đẩy của tàu

$\delta = 0,95$ đối với tàu chạy chậm.

$\delta = 0,60$ đối với tàu chạy nhanh.

φ : hệ số lực cản hình dạng của tàu.

$\varphi = 8 \cdot 10^{-3}$ tàu mũi tù.

$\varphi = 10,5 \cdot 10^{-3}$ tàu mũi nhọn.

f_t : diện tích mặt cắt ngang lớn nhất của tàu chìm trong nước (m^2)

f_a : diện tích mặt cắt ngang đầy nước của âu (m^2).

Q : lưu lượng chảy đến tức thời vào buồng âu (m^3/s)

O_t : diện tích bề mặt ướt của tàu (m^2).

$$O_t = L_t (1,9.S + T.B_t)$$

+ L_t, B_t : chiều dài, chiều rộng tàu (m).

+ T : mớn nước tàu (m).

+ S : độ chìm của tàu (theo phương dọc)

Giá trị P_{1max} đạt được khi có Q_{max} trong âu.

Khi tháo nước buồng âu thì thành phần P_1 sẽ nhỏ hơn khi cấp nước, vì phương trình (3-8) sẽ mất đi thành phần thứ 2 (Lực cản trở hình dạng tàu).

$$P_1^t = k.O_t \left(\frac{Q}{f_a - f_t} \right)^{1,83} \quad (5-8)$$

5.1.4.2. Thành phần P_2 :

Thành phần lực dọc P_2 được tạo nên do độ dốc mặt nước trong âu. Độ dốc mặt nước xuất hiện do các nguyên nhân khác nhau. Khi dòng nước chảy đều vào âu (trong một khoảng thời gian nhất định) do kết quả của sự thay đổi động năng thành thế năng đã tạo thành độ dốc mặt nước (tại cuối buồng âu mực nước cao hơn ở đầu buồng âu -nơi nước chảy vào).

Thành phần lực dọc P_2 được xác định theo công thức:

$$P_2 = W.I \quad (T) \quad (5-9)$$

Trong đó:

W : trọng tải tàu (T).

$I = \frac{\Delta h}{L_b}$: Độ dốc mặt nước trong âu.

Độ chênh lệch mực nước Δh tại đầu và cuối buồng âu với phương pháp cấp nước trực tiếp ta tính gần đúng như là chiều cao vận tốc $\Delta h = \frac{V_1^2}{2g}$ tại đầu âu. Còn ở cuối buồng âu vận tốc dòng nước bằng không và động năng cũng giảm đến giá trị không.

Thành phần lực dọc P_2 tác dụng ngược chiều so với P_1 , P_2 đạt giá trị max khi có năng lượng đường dòng E_{max} chảy vào âu (Không trùng với Q_{max}).

5.1.4.3. Thành phần P_3 :

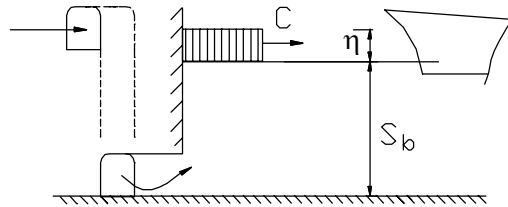
Khi cấp tháo nước âu tàu, tại kênh dặt tàu thượng, hạ lưu sẽ xuất hiện các sóng (tạo nên do sự thay đổi lưu tốc tức thời). Ở đây ta chỉ giới hạn xét sóng trong âu vì nó nguy hiểm hơn nhiều so với sóng trong kênh dặt tàu.

Để tính được sóng trong âu tàu ta chỉ xét trường hợp nước chảy vào (hoặc chảy ra) được tập trung tại một đầu âu. Mỗi một khi lưu tốc thay đổi sẽ sinh ra sóng, sóng này sẽ chuyển động từ một đầu (mà tại đó nước chảy vào hoặc chảy ra) đến đầu kia, tại đây sóng đập vào cửa và quay trở lại.

Như vậy là khối nước trong âu trong thời gian cấp tháo nước sẽ luôn xô dịch, những tổn thất do ma sát và xoáy nước rất nhỏ nên được bỏ qua, do có tàu trong âu nên nó có tác dụng phá sóng, trong âu sẽ xảy ra một tình trạng rất phức tạp của dòng chảy, các đại lượng gây nên tình trạng phức tạp đó phụ thuộc vào vị trí của tàu trong âu, diện tích tàu chiếm chỗ...

Các hiện tượng sóng trong âu khi có tàu mới được thử nghiệm rất ít, bởi vậy phép tính lực dọc tác dụng lên tàu chỉ là gần đúng.

a. Thành phần P_3 khi mở van cấp thoát đột ngột.



Hình 5.5: Sự xuất hiện sóng khi mở van đột ngột.

Khi mở van đột ngột, lưu lượng dòng nước tập trung chảy vào âu sẽ nhanh chóng tăng từ giá trị $Q = 0$ đến Q_{\max} .

Trong âu sẽ xuất hiện sóng có chiều cao η :

$$\eta = \frac{Q_{\max}}{B_b \cdot c} \quad (5-10)$$

Vận tốc truyền sóng c xác định từ phương trình Lagrange:

$$C = \sqrt{g \cdot S_b} \pm v \quad (5-11)$$

Trong đó:

B_b : chiều rộng buồng âu (m)

S_b : độ sâu buồng âu (m)

v : vận tốc trung bình của dòng nước trong âu khi tạo thành sóng (m/s).

g : gia tốc trọng trường (m/s²).

Nếu thay $Q_{\max} = \mu_s \cdot \omega \cdot \sqrt{2gH}$, chiều cao sóng đầu tiên sẽ là:

$$\eta = \frac{\mu_s \cdot \omega \cdot \sqrt{2gH}}{B_b \cdot \sqrt{g \cdot S_b}} = \frac{\mu_s \cdot \omega \cdot \sqrt{2H}}{B_b \cdot \sqrt{S_b}} \quad (5-12)$$

Khi sóng đầu tiên đập vào mũi tàu, một phần bật trở lại và do vậy tạo nên sự nâng cao thêm sóng truyền dọc theo tàu thành giá trị mới η' :

$$\eta' = m \cdot \eta \quad (5-13)$$

Giá trị gần đúng m tính theo công thức:

$$m = \frac{2}{1 + \sqrt{1 - \frac{f_t}{f_a}}} \quad (5-14)$$

Vận tốc truyền sóng dọc tàu được xác định bằng biểu thức:

$$c' = \sqrt{g \cdot h_{ao}} \quad (5-15)$$

$$h_{ao} = \frac{f_a - f_t}{B_b - B_t} \text{ - Độ sâu ảo của nước tại đoạn tàu đổ.}$$

Thành phần lực dọc P_3 được tạo nên do tác động của sóng là:

$$P_3 = \psi B_t \cdot S_t \cdot m \cdot \eta = \frac{2B_t \cdot S_t}{1 + \sqrt{1 + \frac{f_t}{f_a}}} \cdot \frac{\mu_s \cdot \omega}{B_b} \sqrt{2H} \quad (5-16)$$

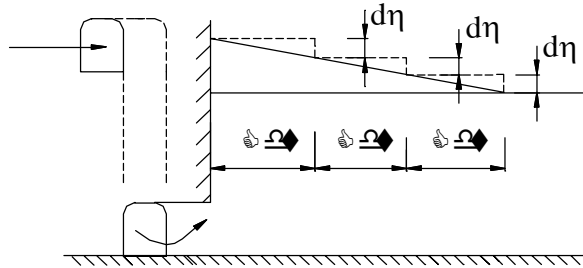
Trong đó:

S_t : diện tích vỏ tàu chìm.

ψ : độ chìm của khung chính tàu, thường lấy = 1.

b. Thành phần lực dọc P_3 khi mở van liên tục đều.

Khi mở van liên tục thì ta có thể coi sự thay đổi từ từ của dòng nước chảy vào âu như là hàng loạt sự thay đổi của các phần tử dQ nối tiếp nhau, mà từ đó nó tạo nên các phần tử sóng có chiều cao $d\eta$.



Hình 5.6: Sóng khi cấp nước với độ dốc dọc.

Bằng cách nối các phần tử sóng lại ta có sóng với độ dốc dọc I được xác định từ phương trình:

$$I = \frac{d\eta}{c \cdot d_t} = \frac{d_Q}{B_b \cdot \sqrt{g \cdot S_b} \cdot \sqrt{g \cdot S_b} \cdot d_t} = \frac{1}{g \cdot f_a} \cdot \frac{d_Q}{d_t} \quad (5-17)$$

Ở đây:

$$f_a = B_b \cdot S_b.$$

$$\eta = \frac{Q}{B_b \cdot c} = \frac{Q}{B_b \cdot \sqrt{g \cdot S_b}}$$

Độ dốc dọc I' của sóng dọc theo tàu có xét tới sự thay đổi vận tốc truyền của sóng là:

$$I' = \frac{1}{g(f_a - f_t)} \cdot \frac{d_Q}{d_t} \quad (5-18)$$

Độ dốc dọc mặt nước I' sẽ lớn nhất tại thời điểm khi sóng bằng đầu đập vào cửa âu, bởi vì ở pha tiếp theo sóng đã va vào cửa âu độ dốc sẽ giảm dần.

Thành phần $\frac{dQ}{dt}$ (Độ tăng lưu lượng trong buồng âu) sẽ ảnh hưởng đến độ dốc I' . Ngoài ra thành phần $(f_a - f_t)$ cũng ảnh hưởng đến I' . Giá trị $(f_a - f_t)$ nhỏ nhất khi nước trong buồng âu ít nhất, tức là lúc bắt đầu cấp nước - khi có $\frac{dQ}{dt}_{\max}$. Lúc đó I' đạt giá trị max.

$$I'_{\max} = \frac{1}{g(f_a - f_t)} \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{\max} \quad (5-19)$$

Thành phần lực dọc P_3 sẽ là:

$$P_3^{\max} = W \cdot I'_{\max} \quad (5-20)$$

c. Thành phần lực dọc P_3 khi cấp tháo nước bằng hệ thống ống dẫn trung và dài:

Khi cấp tháo nước buồng âu hệ thống ống dẫn trung hoặc dài thì dòng nước vào âu sẽ phân bố dọc theo chiều dài buồng âu. Nếu bố trí đúng kỹ thuật các cửa ra (để đường dòng phân chia đều) thì lực dọc tác dụng lên tàu sẽ nhỏ. Độ lớn lực dọc P_3^{\max} sẽ bằng:

$$P_3^{\max} = \sum_{i=1}^m \left[f_i \sqrt{2g \left(\frac{P_i}{\gamma} - h \right)} - f_m \sqrt{2g \left(\frac{P_m}{\gamma} - h \right)} \right] \cdot \frac{w}{g(f_a - f_t)} \quad (5-21)$$

Trong đó:

P_i : áp suất dư trong ống dẫn tại cửa ra thứ i .

f_i : diện tích cửa ra thứ i .

P_m : áp suất dư tại đầu ống dẫn.

f_m : diện tích cửa ở đầu ống dẫn.

Thành phần lớn nhất của lực dọc P là P_3 , chiếm khoảng (80 ÷ 85%) P , khi đó các thành phần lực dọc không đạt giá trị cực đại cùng một lúc, thường thì P_1 và P_2 rất nhỏ và khi phân tích sự xuất hiện và tác động của chúng, người ta giả thiết chúng tác dụng ngược chiều nhau, triệt tiêu lẫn nhau, do đó:

$$P_{\max} = P_3^{\max} = W \cdot I'_{\max} = \frac{W}{g(f_a - f_t)} \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{\max} \quad (5-22)$$

Độ lớn của từng thành phần lực dọc phụ thuộc vào:

- + Vận tốc và phương pháp cấp tháo nước.
- + Các kích thước buồng âu.
- + Tỷ lệ giữa các kích thước buồng âu và hình dáng tàu.

Chú ý:

- Lực dọc P sẽ nhỏ đi nếu dòng cấp tháo được phân bố đều theo chiều dài buồng âu.
- Lực dọc P_{\max} khi đường dòng cấp tháo nước tập trung tại một đầu âu (trường hợp cấp tháo nước trực tiếp hoặc công dẫn ngắn).
- Khi xác định độ lớn các thành phần lực P ta phải tính cho trường hợp bất lợi nhất.

5.2. Những yêu cầu đối với hệ thống cấp tháo nước.

1- Phải đảm bảo cấp đầy và tháo cạn buồng âu trong thời gian qui định ứng với số lượng tàu qua âu.

2- Việc cấp và tháo nước phải tiến hành trong thời gian phù hợp với điều kiện đậu tàu và điều kiện đi lại của tàu trong buồng âu và trong kênh dắt tàu.

Để đảm bảo yêu cầu này thì $R < R_{cf}$.

Trong đó:

R: lực kéo xuất hiện trong dây buộc tàu do tác động của lực thủy động P.

R_{cf} : lực kéo cho phép của dây buộc tàu.

3- Lưu tốc dòng nước trong kênh dắt tàu cần hạn chế trong một phạm vi nhất định tùy theo công suất của tàu kéo và điều kiện luồng lạch để đảm bảo vận tải trên đườn dắt tàu thuận lợi.

Thông thường lưu tốc dòng nước nhỏ hơn vận tốc tàu chạy là (0,4 ÷ 0,5 m/s) thì lái tàu sẽ dễ dàng.

Ví dụ: tốc độ tàu chạy là 4 ÷ 5 km/h (1,1 ÷ 1,4 m/s) thì lưu tốc lớn nhất của dòng nước là 0,7 ÷ 1,0 m/s.

4- Khi tàu đậu trong âu phải giới hạn vận tốc lên xuống của mực nước trong buồng âu.

$$V_{\text{lên, xuống}} \leq 0.04 \div 0.06 \text{ m/s.}$$

Nếu không chú ý điều kiện này thì âu nhỏ dùng cột neo tàu cố định trên tường buồng âu, tàu có thể bị treo và dây neo đứt gây tai nạn cho tàu.

Chú ý: Ở những âu tàu lớn dùng trụ neo di động thì ta không cần xét đến điều kiện trên nữa.

5- Cần đảm bảo kết cấu của âu tàu không bị hư hỏng, đáy âu và đường dắt tàu không bị xói lở, cửa van không bị chấn động và xâm thực làm hỏng.

Để đảm bảo điều kiện trên yêu cầu vận tốc của dòng nước tháo ra không được lớn hơn vận tốc dòng nước cho phép không xói lở: $V_t < V_{kx}$.

Trị số V_{kx} được lấy theo bảng:

Bảng 5.1: Vận tốc không xói

Địa chất đáy	V_{kx} (m/s)
- Cát rất nhỏ.	0,35 - 0,40
- Cát nhỏ.	0,40 ÷ 0,50
- Cát trung bình.	0,50 - 0,60
- Cát khô.	0,60 - 0,70
- Đá dăm nhỏ.	0,80 - 0,90
- Á sét yếu.	0,70 - 0,80
- Á sét chắc.	0,90 - 1,0
- Á sét nhẹ	0,7 - 0,80
- Á sét trung bình và chắc.	1,0 - 1,20
- Sét mềm.	0,7 - 0,80
- Sét trung bình.	1,20 - 1,40

Đối với đất sét chắc, đất nửa đá và đá vận tốc trung bình của dòng nước trong kênh đất tàu thường giới hạn không phải bởi điều kiện xói lở mà bởi điều kiện chuyển động của tàu trong đó.

Nói chung để đảm bảo những yêu cầu đối với hệ thống cấp tháo nước đã nêu trên cần có một số biện pháp sau:

+ Khi cấp tháo, nước phải được phân bố đều trên toàn bộ chiều dài, chiều rộng của buồng âu.

+ Dùng những cấu tạo tiêu năng để tiêu hao bớt năng lượng của dòng nước trước khi vào hoặc ra khỏi âu.

+ Khi mở van ống dẫn nước phải mở từ từ để mực nước tăng lên hoặc rút xuống dần dần.

5.3. Hệ thống cấp tháo nước tập trung.

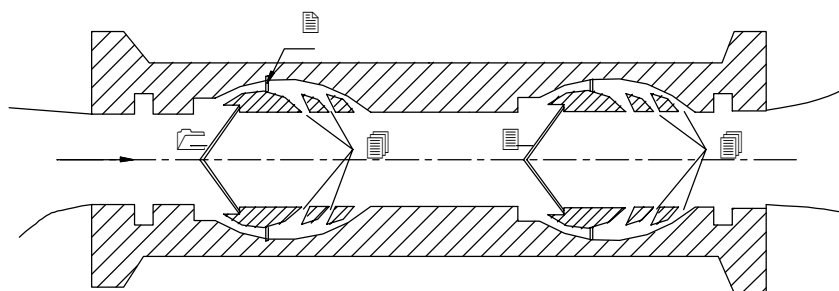
Hệ thống cấp tháo nước tập trung còn được gọi là hệ thống cấp tháo nước đầu âu, hệ thống này đặc trưng ở chỗ nước vào buồng âu và ra khỏi buồng âu được thực hiện ở đầu âu với các hình thức khác nhau như:

- + Cấp tháo nước qua lỗ trên cửa âu.
- + Qua cống ngăn đi vòng qua cửa âu.
- + Qua cống ngầm dưới cửa âu.
- + Qua khe dưới cửa âu.

5.3.1. Hệ thống cấp tháo nước bằng cống dẫn.

5.3.1.1. Loại có cống dẫn nằm trong mặt phẳng ngang.

Loại này được sử dụng rất rộng rãi, nhất là theo đà phát triển của loại âu tàu đá và bê tông. Cống dẫn ngăn được vòng qua cửa âu xuyên qua tường âu, cửa ra có thể có một cửa (hình 5.1) hay nhiều cửa (hình 5.7). Nói chung loại này thường được xây dựng với âu tàu có cột nước nhỏ $H \leq 5m$.



Hình 5.7: Cống dẫn nước trong mặt phẳng ngang.

- | | |
|------------------|-----------------|
| 1- Cửa âu trên. | 3- Cửa âu dưới. |
| 2- Van cấp tháo. | 4- Cửa ra. |

Thông thường ở đầu âu dưới người ta làm những cống dẫn đi vòng có tiết diện thay đổi để tránh tổn thất cục bộ lớn. Tại vị trí đặt van tiết diện cống dẫn là ω_r .

$$\omega_r = (1,5 \div 1,8) \omega \quad (5-23)$$

Để tránh xâm thực, cửa cống dẫn nên đặt dưới mực nước vận tải từ $0,3 \div 0,75\text{m}$ và cửa ra nên đặt thấp hơn cửa vào.

*** Ưu điểm:**

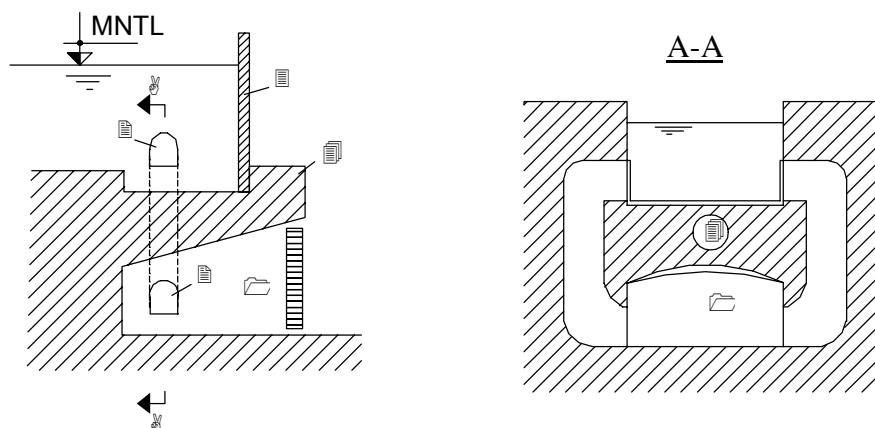
- Lợi dụng được 2 dòng chảy đối lưu để tiêu năng.
- Thi công đơn giản, nhanh chóng.

*** Nhược điểm:**

- Dòng nước chảy ra mạnh dễ ảnh hưởng đến điều kiện đậu tàu.
- Ở cửa ra lưu tốc lớn và phân bố không đều hình thành dòng chảy xoáy trong thân âu.
- Tường đầu âu dày.

5.3.1.2. Loại có cống dẫn nằm trong mặt phẳng đứng.

Loại này còn được gọi là cấp thoát nước qua tường vây (hình 5.8). Tường vây là tường xây ở đầu âu trên để giảm độ cao của cửa âu, các âu tàu hiện đại thường dùng kiểu kết cấu này.



Hình 5.8: Cấp thoát nước qua tường vây.

- | | |
|-------------------|--------------|
| 1- Bồn tiêu năng. | 3-Cửa âu. |
| 2- Cống dẫn nước. | 4-Tường vây. |

*** Ưu điểm:**

- Tiêu năng tốt.
- Bố trí các thiết bị ở đầu âu thuận tiện hợp lý.

Loại kết cấu này thường được xây dựng ở những âu tàu có mực nước lớn. Nếu bồn tiêu năng không đủ ta làm thêm những thiết bị tiêu năng khác (thanh tiêu năng, lưới tiêu năng, ngưỡng tiêu năng).

5.3.2. Cấp nước bằng lỗ qua cửa.

5.3.2.1. Loại đơn giản:

Loại đơn giản của hệ thống cấp thoát nước bằng lỗ qua cửa bắt đầu dùng khi xây dựng những âu tàu đầu tiên vào nửa sau thế kỷ XV và được phát triển rộng rãi ở Nga với âu tàu có cột nước H nhỏ vào thế kỷ XVIII.

Ở những âu này việc làm đầy và tháo cạn buồng âu được tiến hành qua lỗ ở cửa có van điều tiết.

Cửa van có thể bố trí thành hàng ngang, số lượng nhiều hay ít, kích thước lớn hay nhỏ tùy theo nhu cầu cấp tháo nước.

Cửa van có thể là cửa phẳng, cửa quay theo trục đứng, trục ngang hay kéo lên. Cửa van được mở bằng cách đứng trên cầu công tác trên đỉnh cửa âu rồi dùng cần kéo lên (loại này đã được áp dụng ở âu Cổ Am - Nam Hà)

Để tránh bị chấn động, cửa van cần được đặt thấp hơn mực nước hạ lưu.

Loại kết cấu này có các ưu điểm sau:

*** Ưu điểm:**

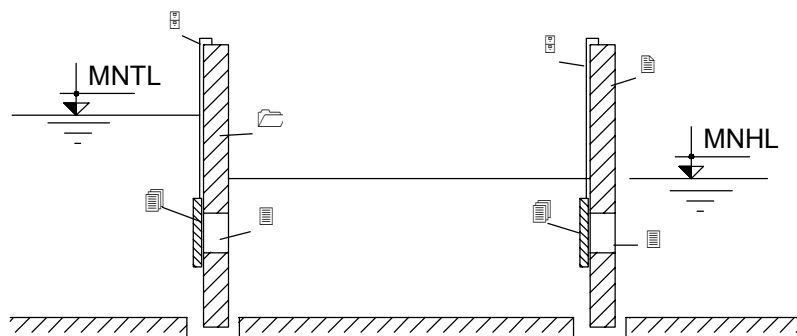
- Kết cấu đơn giản, giá thành hạ.
- Tường đầu âu mỏng, thích hợp với đầu âu kết cấu bằng gỗ.

*** Nhược điểm:**

- Dòng nước cấp tháo chảy mạnh nên ảnh hưởng đến kết cấu của âu tàu và tàu bè đậu trong âu.

Nhược điểm này có thể khắc phục bằng cách mở cửa van từ từ hoặc làm thiết bị tiêu năng.

Hiện nay loại kết cấu này chỉ dùng ở âu tàu có cột nước $H < 3,5\text{m}$ và làm nhiệm vụ hỗ trợ trong những âu lớn.

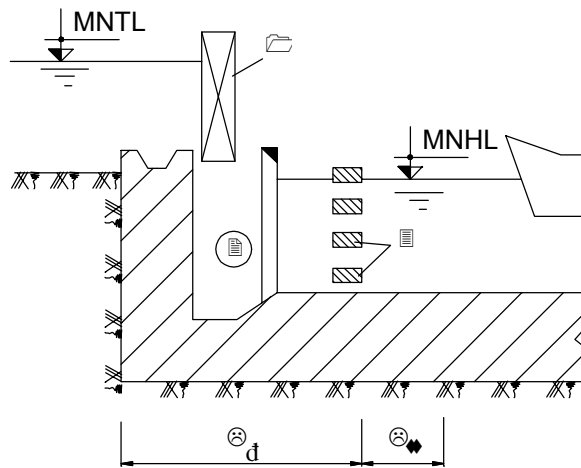


Hình 5.9: Cấp tháo nước bằng lỗ đơn giản.

- | | | |
|-----------------|----------------|-----------------|
| 1- Cửa âu trên. | 3-Lỗ cấp tháo. | 5-Cần công tác. |
| 2- Cửa âu dưới. | 4-Cửa van. | |

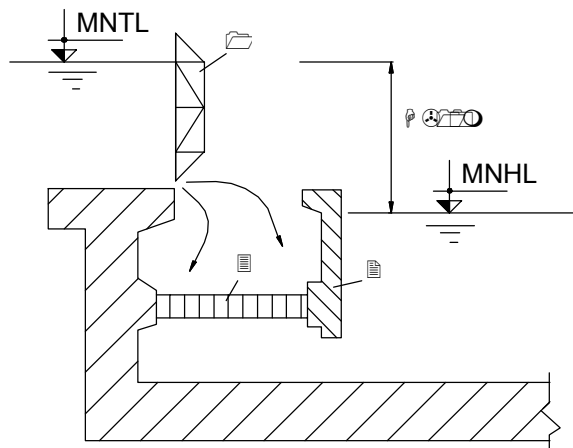
5.3.2.2. Loại có cấu tạo tiêu năng.

Với đầu âu trên thường dùng các kiểu sau (xem các hình 5.10, 5.11). Các kiểu kết cấu này có ưu điểm là tiêu năng tốt và được xây dựng ở những âu tàu có cột nước $H > 10\text{m}$.



Hình 5.10: Đầu âu dùng buồng và thanh tiêu năng.

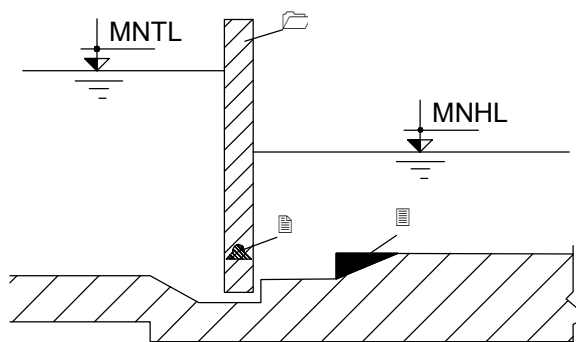
- | | |
|---------------------|-------------------------------------|
| 1- Cửa âu. | 4-Tàu đệm trong âu. |
| 2- Buồng tiêu năng. | L_d : Chiều dài đầu âu. |
| 3- Thanh tiêu năng. | L_{tt} : Chiều dài đoạn nước tĩnh |



Hình 5.11: Đầu âu dùng tường và lưới tiêu năng

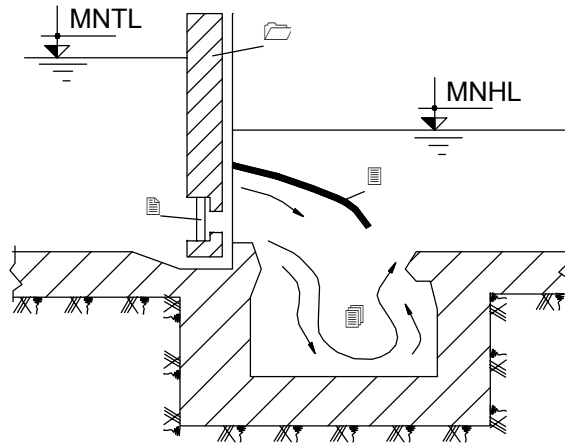
- | | |
|---------------------|-------------------|
| 1- Cửa âu. | 3-Lưới tiêu năng. |
| 2- Tường tiêu năng. | |

Với đầu âu dưới ta không bố trí được những thiết bị tiêu năng như trên vì sẽ vướng tàu chạy mà ta chỉ xây ngưỡng tiêu năng (hình 5.12) hoặc xây buồng tiêu năng với thanh tiêu năng cong (hình 5.13).



Hình 5.12: Hệ thống cấp thoát nước có ngưỡng tiêu năng.

- 1- Cửa âu dưới. 3- Ngưỡng tiêu năng có răng.
2- Van điều tiết.



Hình 5.13: Hệ thống cấp tháo nước với thanh tiêu năng cong.

- 1- Cửa âu dưới. 3- Thanh tiêu năng cong.
2- Van điều tiết. 4- Buồng tiêu năng.

5.4. Hệ thống cấp tháo nước phân tán.

Hệ thống cấp tháo nước phân tán là hệ thống cấp tháo nước qua các công ngầm dọc theo tường hay đáy thân âu.

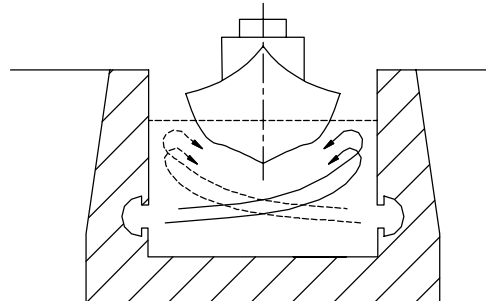
Hệ thống cấp tháo nước phân tán được xây dựng khi cột nước chênh lệch $H > 12\text{m}$.

Sự khác nhau cơ bản về kết cấu giữa hệ thống cấp tháo nước tập trung và phân tán là ở hệ thống cấp tháo nước phân tán, công dẫn nước được bố trí trong tường hoặc đáy buồng âu.

Sự khác nhau cơ bản về thủy lực giữa hệ thống cấp tháo nước tập trung và phân tán là biện pháp cấp tháo nước.

*** Ưu điểm:**

- Nước trong âu ổn định, điều kiện đậu tàu tốt (vì dòng nước chảy ra khỏi công dẫn ở hai tường buồng âu sẽ lệch nhau hướng vào tường đối diện, mặt nước trong âu sẽ có hình lõm do vậy các lực ngang tác dụng lên tàu nhỏ) (Hình 5.14).



Hình 5.14: Hướng của dòng nước cấp tháo khi ra khỏi cửa công dẫn.

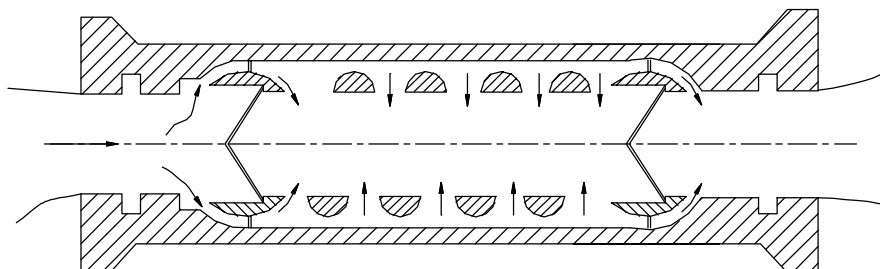
*** Nhược điểm:**

- Cấu tạo công dọc phức tạp, thi công khó.
- Giá thành xây dựng cao.

Dưới đây ta xét một số cách bố trí công dẫn nước của hệ thống cấp tháo nước phân tán.

5.4.1 Bố trí công dẫn nước trong tường âu:

Loại kết cấu này có công dẫn nằm trong tường dọc suốt thân âu và những công ngăn chạy vào buồng âu. Bố trí kiểu này sẽ làm cho nước phân bố đều hơn suốt dọc thân âu. Điều quan trọng là bố trí sao cho các công ngăn so le nhau.



Hình 5.15: Bố trí công dẫn dài trong tường buồng âu.

Thông thường ở hệ thống cấp tháo nước phân tán công dẫn dài có tiết diện không đổi trên suốt chiều dài buồng âu vì không chỉ phục vụ riêng việc cấp mà cả tháo nước.

Để đảm bảo cho sự phân chia đều dòng nước dọc theo chiều dài buồng âu khi cấp nước thì yêu cầu khi thiết kế là:

- + Các cửa ra có tiết diện bé dần đều đặn theo dòng nước.
- + Nếu các cửa ra có tiết diện không đổi thì phải tăng dần khoảng cách giữa các cửa ra.

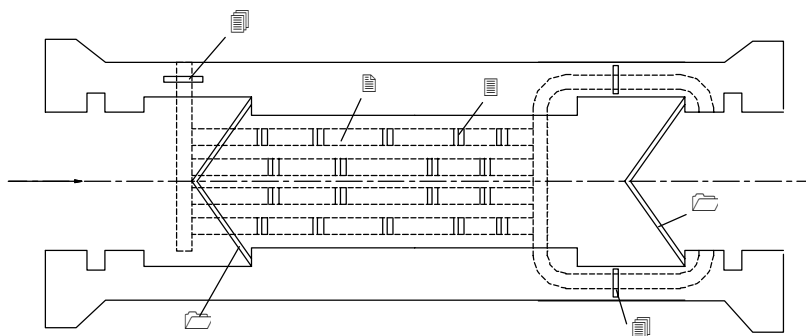
Nếu vận tốc cấp tháo nước càng lớn thì sự chênh lệch áp suất thủy lực giữa 2 đầu công dẫn càng lớn. Để cho các kích thước ngang của công dẫn nhỏ nhất (độ yếu của tường nhỏ nhất) ta chọn vận tốc dòng nước trong công dẫn lớn nhất. Vận tốc đó không được lớn hơn 8m/s, nếu lớn hơn công dẫn phải được trát gia cố bề mặt.

Nhược điểm lớn của hệ thống cấp tháo nước này là nếu một bên công hỏng (nghẹt van, van bị hỏng, công bị hỏng...) thì chỉ một bên làm việc, khi đó tàu đổ trong âu sẽ bị dạt sang một bên.

5.4.2. Bố trí công dẫn nước ở đáy âu.

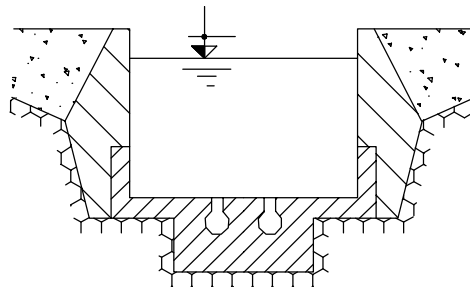
Loại này công dẫn nước xây dọc đáy âu và được đậy bằng những tấm bê tông có bố trí cửa ra.

Kết cấu này trước đây chỉ xây dựng trên nền đá, thời gian gần đây người ta xây dựng cả trên nền đất.



Hình 5.16: Bố trí công dẫn nước ở đáy âu.

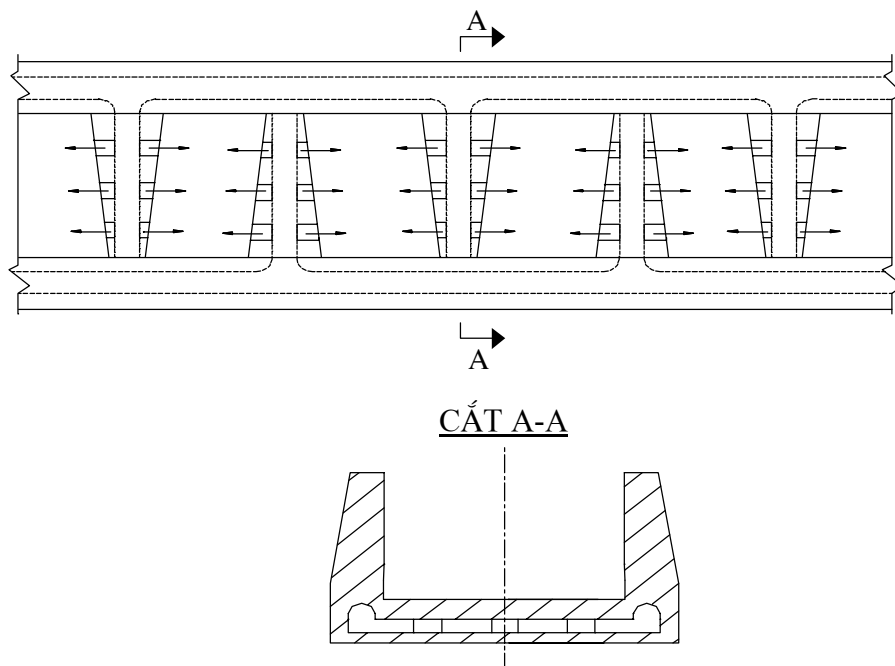
- 1- Cửa âu.
- 2- Công dẫn dọc dưới đáy âu.
- 3- Cửa ra.
- 4- Van điều tiết.



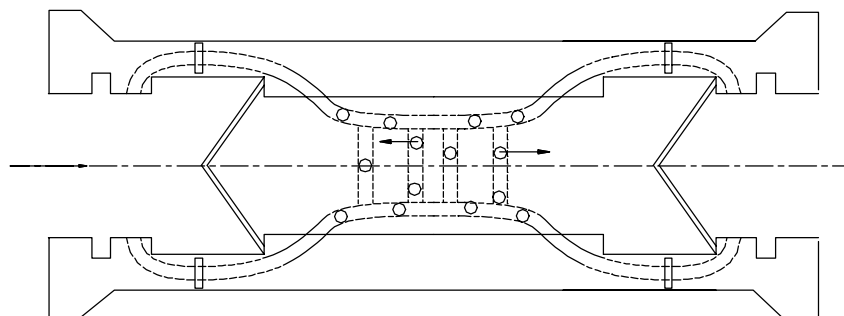
Hình 5.17: Mặt cắt ngang âu tàu xây trên nền đá và bố trí công dẫn ở đáy âu.

Trong trường hợp chiều rộng buồng âu quá lớn ($B_b > 24m$) thì yêu cầu đối với dòng chảy khi cấp nước không những chỉ phân bố đều theo chiều dài âu mà còn phải phân bố đều theo chiều rộng của âu.

Yêu cầu này có thể được giải quyết thoả đáng bằng cách từ các công dẫn dài trong tường hoặc đáy âu ta bố trí các công dẫn ngang vuông góc với trục âu ở dưới đáy âu và có các cửa ra song song với trục âu (Hình 5.18, Hình 5.19).



Hình 5.18: Hệ thống công dẫn dọc và ngang trong tường và đáy âu.



Hình 5.19: Cấp tháo nước với hệ thống công dẫn dọc và ngang ở đáy buồng âu.

Nói chung bố trí công dẫn nước ở đáy âu có ưu điểm là dòng nước chảy tương đối đều, song cũng có nhược điểm là nước chảy trực tiếp từ đáy âu lên sẽ làm cho tàu lắc (trường hợp cửa ra hướng thẳng góc với đáy âu như trên hình vẽ 5.17, 5.19)

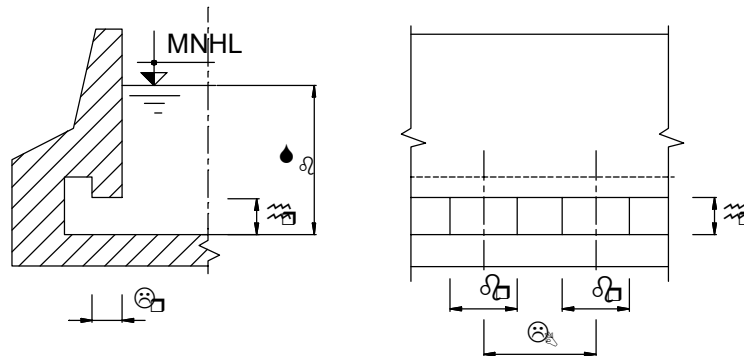
5.4.3. Yêu cầu về cách bố trí cửa ra của công dẫn nước:

Để cho lưu lượng của dòng nước cấp tháo phân bố đều tại các cửa ra suốt dọc buồng âu, dựa trên cơ sở tính toán và thí nghiệm, ta phải thiết kế cửa ra thay đổi theo chiều dài buồng âu (nếu cự ly giữa các cửa ra như nhau).

Trong thủy lực học chúng ta đã biết nước chảy càng xa thì càng yếu do tổn thất dọc đường và tổn thất cục bộ, do đó tại những cửa ra càng xa nước chảy càng yếu, ta phải mở rộng mặt cắt cửa ra.

Đối với cửa ra ở đáy có thể không thay đổi diện tích mặt cắt, mà thay đổi cự ly cửa ra theo chiều dài buồng âu.

5.4.3.1. Cửa ra ở tường:



Hình 5.20: Cửa ra công dẫn nước trong tường.

Để đảm bảo nước chảy ngập, tránh chấn động, yêu cầu:

$$l_r \geq (3 \div 4) h_r \tag{5-24}$$

Trong đó:

l_r - Chiều dài cửa ra.

b_r - Bề rộng cửa ra.

h_r - Chiều cao cửa ra.

Để tránh trường hợp mở van đột ngột nước đập vào đáy tàu, yêu cầu:

$$h_{max} \geq 0,09B_b - (S_b - T) \tag{5-25}$$

Trong đó:

h_{max} - Độ dâng mực nước trong buồng tại thời điểm $Q = Q_{max}$.

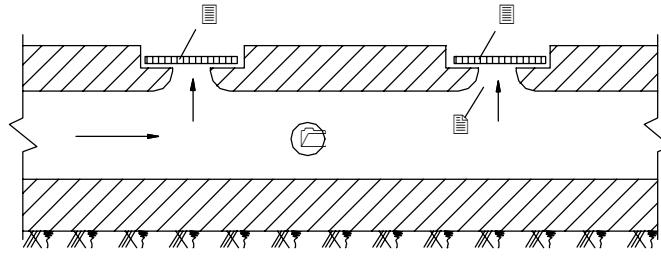
Để đảm bảo sự khuếch tán của dòng nước cấp tháo trước khi đối lưu (đảm bảo không dậy sóng) yêu cầu:

$$l_B \leq b_r + 0,17 B_b \tag{5-26}$$

Ở đây: l_B - Khoảng cách giữa các cửa ra.

5.4.3.2. Cửa ra ở đáy:

Kinh nghiệm khai thác âu tàu cho thấy, dòng nước chảy ra ở đáy có thể làm hỏng vỏ tàu gỗ, hoặc làm cho tàu lắc. Vì vậy tại các cửa ra ở đáy phải được bố trí các tấm che để giảm bớt năng lượng của dòng nước cấp tháo (hình 5.21).



Hình 5.21: Cửa ra ở đáy với tấm che.

- 1- Ống dẫn nước. 3- Tấm che.
2- Cửa ra.

* Các quy định trên đây được đưa ra dựa trên các nghiên cứu tính toán, thí nghiệm mô hình, nếu không thỏa mãn yêu cầu thì phải điều chỉnh thời gian mở van hoặc mở rộng mặt cắt cửa ra.

5.5. Phương pháp cấp tháo nước:

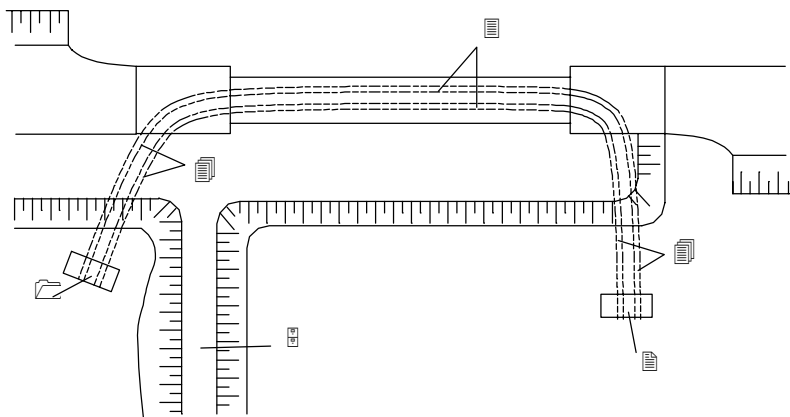
Hiện nay ở bất kỳ hệ thống cấp tháo nước nào người ta cũng ứng dụng phương pháp mở van cổng dẫn nước liên tục dần dần để đảm bảo điều kiện đậu tàu.

Những nghiên cứu thực nghiệm chứng tỏ rằng việc mở van không liên tục điều kiện đậu tàu kém hơn so với cách mở liên tục cùng khoảng thời gian đó.

Người ta có thể mở van dần dần, liên tục với vận tốc đều hoặc không đều, nhưng thông dụng nhất là phương pháp mở đều van cổng dẫn nước với một vận tốc cố định.

Việc chọn vận tốc và thời gian mở van cổng dẫn nước được xác định chủ yếu bằng điều kiện đậu tàu. Vì vậy khi cột nước lớn muốn đảm bảo lưu tốc dòng nước trong lòng lạch bé, điều kiện đậu tàu tốt, thì dùng các biện pháp sau:

1. Kéo dài thời gian cấp tháo nước.
2. Xây hệ thống lấy nước bên cạnh âu, biện pháp này sẽ giảm được thời gian cấp tháo nước. Song có nhược điểm là kết cấu và thiết bị phức tạp sẽ làm giá thành xây dựng tăng (hình 5.22).
3. Có thể mở rộng mặt cắt kênh dặt tàu để giảm vận tốc dòng nước lúc cấp tháo nước, làm cho điều kiện đậu tàu được tốt.



Hình 5.22: Sơ đồ hệ thống cấp tháo nước bên cạnh âu.

- 1- Công trình lấy nước
- 2- Công trình lấy nước
- 3- Cống dẫn dưới đáy buồng âu
- 4- Cống dẫn nước qua phần đáy của âu.
- 5- Đập đất

5.6. Chọn hệ thống cấp tháo nước:

Hệ thống cấp tháo nước hợp lý nhất là hệ thống cấp tháo nước đảm bảo được thời gian cần thiết làm đầy và tháo cạn buồng âu với điều kiện đầu tàu tốt nhất, với giá thành xây dựng âu nhỏ nhất. Vì vậy khi chọn hệ thống cấp tháo nước ta phải dựa vào những điều kiện sau:

- + Thời gian cấp tháo nước đáp ứng được quy định về khả năng thông qua của âu tàu.
- + Đảm bảo an toàn cho tàu bè đậu trong âu và trong kênh dắt tàu.
- + Kết cấu chung của đầu âu và quy mô của âu tàu như H, L_b, B_b.
- + Khả năng và thiết bị thi công.
- + Giá thành xây dựng.

Theo ý kiến của nhà khoa học Nga Mikhailốp thì:

- + H < 7m: Xây dựng hệ thống cấp tháo nước tập trung sẽ rẻ hơn.
- + H > 15m: Xây dựng hệ thống cấp tháo nước phân tán sẽ rẻ hơn.
- + 7 < H < 15m: Giá thành xây dựng hệ thống cấp tháo nước tập trung và phân tán như nhau.

Hiện nay ở Liên Bang Nga, Cục quản lý đường sông quy định như sau:

- Khi H > 14m: Xây dựng hệ thống cấp tháo nước phân tán
- Khi H < 10m: Xây dựng hệ thống cấp tháo nước tập trung.
- 10 < H < 14m: Phải so sánh về kinh tế kỹ thuật 2 hệ thống cấp tháo nước phân tán và tập trung để chọn phương án hợp lý.

Ngoài cột nước H, khi so sánh lựa chọn hệ thống cấp tháo nước ta còn phải chú ý đến lưu lượng trung bình của dòng nước cấp tháo (Q_{tb}), đồng thời phải xét đến năng lượng trung bình của dòng nước cấp tháo (e_{tb}):

$$Q_{tb} = \frac{V}{T} \quad (m^3/s)$$

$$e_{tb} = \gamma \cdot Q_{tb} \cdot H_{tb} \quad (kW) \quad \text{(Gần đúng)} \quad (5-27)$$

Khi Q_{TB} và e_{TB} tương đối lớn thì phải dùng hệ thống cấp nước phân tán.

Theo Mikhailốp khi $\begin{cases} Q_{tb} > 300m^3 / s \\ e_{tb} > 20.0000kW \end{cases}$ thì phải xây dựng hệ thống cấp thoát nước phân tán.

Ghi chú: Trong công thức (3.29)

Q_{tb} là lưu lượng trung bình của dòng nước.

T - Thời gian cấp thoát nước (giây)

V- lượng nước cấp thoát (m^3)

PHẦN B: TÍNH TOÁN THỦY LỰC

5.7. Khái niệm chung về tính toán thủy lực.

5.7.1. Các hiện tượng thủy lực xảy ra khi cấp tháo nước:

- Khi cấp tháo nước dòng chảy gây ra một lực thủy động đối với tàu đậu trong buồng âu và trong kênh dẫn tàu, lực đó truyền vào dây buộc tàu, nếu lực kéo trong dây buộc tàu $R > R_{cf}$ dây sẽ đứt, rất nguy hiểm.

- Khi cấp tháo nước ở kênh dẫn tàu sẽ có một lưu lượng dòng chảy lớn, vận tốc dòng nước mạnh sẽ gây xói lở ở hạ lưu.

- Dòng nước chảy trong cống dẫn có thể gây ra những hiện tượng chấn động hoặc xâm thực.

Để khắc phục những hiện tượng bất lợi trên, nhằm làm cho âu và các thiết bị làm việc tốt, tàu bè qua âu an toàn và thuận lợi, ta phải tính toán thủy lực âu tàu.

5.7.2. Mục đích tính toán thủy lực:

Việc tính toán thủy lực âu tàu nhằm những mục đích sau:

- Xác định kích thước của cống dẫn nước phù hợp với thời gian cấp tháo nước (theo yêu cầu khai thác và điều kiện kỹ thuật).

- Định kích thước của thiết bị tiêu năng.

- Định ra tốc độ mở van cống dẫn nước.

- Định được vị trí đặt van dẫn nước.

Phương pháp thông thường là định ra phương án trước (như định ra kích thước cống dẫn nước, kiểu cửa van, phương pháp và thời gian đóng mở cửa van...) rồi kiểm nghiệm lại điều kiện đậu tàu và hiện tượng thủy lực phía sau cửa van.

Phương pháp khác là có thể định ra các kết cấu có quan hệ như thiết bị tiêu năng (buồng tiêu năng, thanh tiêu năng...) rồi dùng thí nghiệm mô hình để kiểm nghiệm. Căn cứ vào điều kiện đậu tàu cho phép để tìm ra mặt cắt cống dẫn nước, kiểu cửa van và tính toán thời gian đóng mở van.

5.8. Phương trình cơ bản của chuyển động nước trong hệ thống cấp tháo nước âu tàu.

Chuyển động nước trong hệ thống cấp tháo nước âu tàu là một chuyển động không ổn định (các yếu tố thủy lực như vận tốc v , áp suất p thay đổi theo thời gian) và là chuyển động không đều (các yếu tố thủy lực thay đổi theo chiều dài dòng chảy). Nhưng để đơn giản bài toán người ta coi dòng chảy là ổn định.

$$\text{Từ phương trình Bécnuylý: } z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha \frac{v_2^2}{2g} + h_c + h_d$$

Giả sử có một cống dẫn nước vòng qua tường với tiết diện thay đổi (hình 5.23). Ta áp dụng phương trình Bécnuylý cho 2 mặt cắt 1-1 và 2-2 ta có: (mặt chuẩn nằm ngang 0-0 đi qua mặt phẳng chứa trục cống dẫn nước):

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha \frac{v_2^2}{2g} + \sum_{i=1}^m \xi_i \frac{v_i^2}{2g} + \frac{1}{g} \sum_{i=1}^m l_i \frac{dv_i}{dt} \quad (5-28)$$

Trong đó:

z_1, z_2 : độ cao hình học của mặt cắt 1-1 và 2-2 (độ cao từ mặt nước đến mặt phẳng chuẩn nằm ngang)

P_1, P_2 : áp suất tại mặt nước 1-1 và 2-2 ($= Pa$)

$\frac{P_1}{\gamma}, \frac{P_2}{\gamma}$: độ cao áp suất (cột nước áp lực)

v_1, v_2 : lưu tốc ở mặt nước do mực nước thay đổi sinh ra.

$\alpha \frac{v_1^2}{2g}; \alpha \frac{v_2^2}{2g}$: cột nước lưu tốc

α - hệ số hiệu chỉnh động năng (còn gọi là hệ số cột nước lưu tốc)

$\alpha = 2$: Nếu vận tốc phân bố theo quy luật Parabol (trạng thái chảy tầng)

$\alpha = 1,01 \div 1,10$: Nếu vận tốc phân bố theo quy luật lôgarit (chảy rối)

$\alpha = 1,0$: Dòng rối có kích thước bé

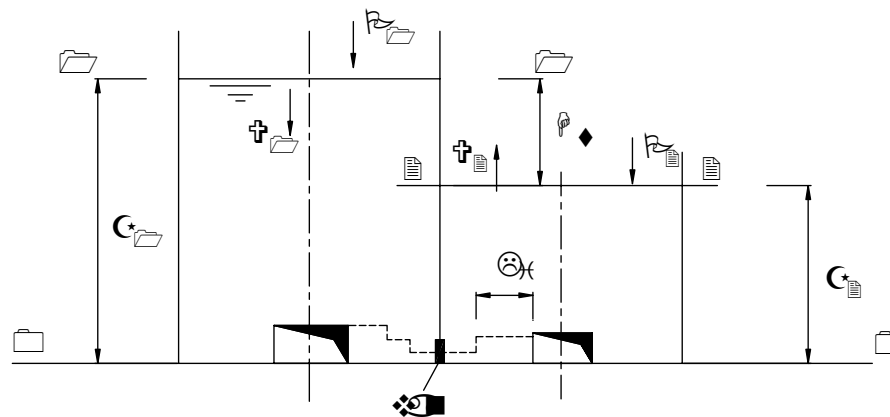
$\alpha = 1,05 \div 1,10$: Khi nước chảy trong ống, kênh hoặc máng.

ξ_i - Hệ số sức cản của đoạn thứ i trong cống dẫn (trong đoạn này độ nhám và tiết diện như nhau)

$h_c = \sum_{i=1}^m \xi_i \frac{v_i^2}{2g}$: Tổng tổn thất cục bộ

$h_d = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^m l_i \frac{dv_i}{dt}$: Tổng tổn thất dọc đường

v_i - Lưu tốc trong đoạn ống dẫn nước i .



Hình 5.23: Kết cấu cống dẫn nước vòng qua tường và chọn mặt cắt cho phương trình Bernouli.

Từ phương trình (5-28) ta có:

$$z_1 - z_2 = \alpha \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \sum_{i=1}^m \xi_i \frac{v_i^2}{2g} + \frac{1}{g} \sum_{i=1}^m l_i \frac{dv_i}{dt} \quad (5-29)$$

Trong đó:

$z_1 - z_2 = H_t$ là cột nước chênh lệch tại thời điểm t

$$\alpha \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \approx 0 \quad (\text{bỏ qua vì rất nhỏ})$$

Ta có:

$$h_c = \sum_{i=1}^m \xi_i \frac{v_i^2}{2g} = \xi_c \frac{v^2}{2g} = \frac{1}{\mu_t^2} \frac{v^2}{2g}$$

Với:

ξ_c - hệ số sức cản tổng cộng của hệ thống cấp tháo nước

μ_t - hệ số lưu lượng (ở thời điểm t)

$$h_d = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^m l_i \frac{dv_i}{dt} = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^m l_i \frac{d\left(v \cdot \frac{\omega}{\omega_i}\right)}{dt} = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^m \left(l_i \cdot \frac{\omega}{\omega_i} \frac{dv}{dt} \right) = \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} \sum_{i=1}^m \frac{\omega}{\omega_i} l_i$$

Đặt: $l_{ds} = \sum_{i=1}^m \frac{\omega}{\omega_i} l_i$ - chiều dài dẫn suất của công dẫn

ω_i - diện tích tiết diện ngang đoạn công dẫn đoạn thứ i

$$\Rightarrow h_d = \frac{l_{ds}}{g} \frac{dv}{dt} : \text{Cột nước quán tính.}$$

Thay các đại lượng vào (3-31) ta có:

$$H_t = \frac{1}{\mu_t^2} \frac{v^2}{2g} + \frac{l_{ds}}{g} \frac{dv}{dt} \quad (5-30)$$

Đây là phương trình cơ bản để tính toán thủy lực âu tàu.

5.9. Tính toán kích thước công dẫn nước và thời gian cấp tháo nước

5.9.1. Trường hợp buồng âu tường đứng, mở van đều, liên tục và chảy ngập:

Buồng âu tường nghiêng hiện nay chỉ áp dụng cho các âu có cột nước chênh lệch không lớn trên những sông nhỏ, còn tường buồng những âu tàu hiện đại thường có dạng đứng hoặc có độ nghiêng nhỏ từ 50:1 đến 100:1. Vì vậy trong phần này ta chỉ tính toán cho trường hợp buồng âu tường đứng.

Trong thực tế, ở các âu tàu hiện đại để tránh sự phức tạp về thiết bị, người ta ít dùng đồng thời một số hệ thống cấp tháo nước mà hệ số lưu lượng khác nhau rõ rệt. Vì vậy, các công thức tính toán dưới đây chỉ áp dụng cho trường hợp cấp tháo nước buồng âu có diện tích cố định, với việc mở van dần dần liên tục của hệ thống cấp tháo nước.

Bỏ qua ảnh hưởng của lực quán tính, tích phân phương trình (5-30) ta có hệ thức sau:

$$\int_0^t \mu_t dt = \frac{-C}{\omega \sqrt{2g}} \cdot 2(\sqrt{H_t} - \sqrt{H}) \quad (5-31)$$

(Xem diễn giải xác định công thức 5-31 ở phần sau)

Trong đó:

$$C = \frac{\Omega_1 \cdot \Omega_2}{\Omega_1 + \Omega_2}$$

Ω_1 : diện tích mặt thoáng buồng âu thứ nhất.

Ω_2 : diện tích mặt thoáng buồng âu thứ hai.

- Với âu đơn cấp:

+ Khi cấp nước: $\Omega_1 = \infty$: Mặt thoáng kênh thượng lưu

$\Omega_2 = \Omega$: Mặt thoáng trong âu

+ Khi tháo nước: $\Omega_1 = \Omega$: Mặt thoáng trong âu

$\Omega_2 = \infty$: Mặt thoáng kênh hạ lưu

Ta có:
$$C = \frac{\Omega_1 \cdot \Omega_2}{\Omega_1 + \Omega_2} = \Omega$$

- Với âu đa cấp:

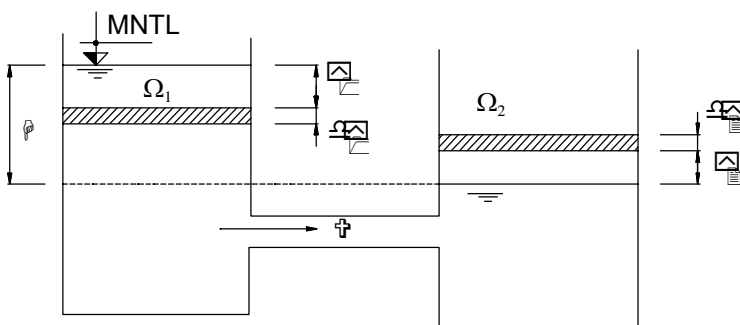
+ Khi cấp nước từ thượng lưu vào buồng thứ nhất và tháo nước từ buồng cuối cùng ra hạ lưu thì như trường hợp âu đơn cấp: $C = \Omega$

+ Khi cấp tháo nước giữa các buồng âu $\Omega_1 = \Omega_2 = \Omega$ (Mặt thoáng 2 buồng âu như nhau), ta có:
$$C = \frac{\Omega_1 \cdot \Omega_2}{\Omega_1 + \Omega_2} = \frac{\Omega}{2}$$

Lưu lượng trong hệ thống thủy lực:

$$Q = \omega \cdot \mu_t \sqrt{2g \cdot H_t} \tag{5-32}$$

Chứng minh công thức (5-31):



Hình 5.24: Sơ đồ tính toán kích thước cống dẫn nước và thời gian cấp tháo nước.

Từ phương trình cơ bản (5-30), bỏ qua cột nước quán tính ta có:

$$H_t = \frac{1}{\mu_t^2} \frac{v^2}{2g} \Rightarrow v = \mu_t \sqrt{2g \cdot H_t}$$

Mặt khác: $Q = \omega \cdot v \rightarrow Q = \omega \cdot \mu_t \sqrt{2g \cdot H_t} \tag{5-32}$

$$\Rightarrow \mu_t = \frac{Q}{\omega\sqrt{2g.H_t}} \quad (1)$$

Dựa vào điều kiện liên tục: khối nước dâng lên $\Omega_2.dy_2$, khối nước tụt xuống $\Omega_1.dy_1$ và lượng nước chảy qua cống có tiết diện ω trong khoảng thời gian dt là như nhau, ta có:

$$q.dt = \Omega_1.dy_1 = \Omega_2 \cdot dy_2$$

$$\text{Do đó: } q = \frac{\Omega_1.dy_1}{dt} \quad (2)$$

Ta thấy: $dH = -(dy_1 + dy_2) = -\left(1 + \frac{\Omega_1}{\Omega_2}\right).dy_1$: Biến thiên độ chênh cột nước của Âu bằng tổng lượng biến thiên mực nước thượng lưu dy_1 và hạ lưu dy_2 nhưng trái dấu.

$$\rightarrow dy_1 = -\frac{\Omega_2}{\Omega_1 + \Omega_2} .dH$$

$$\rightarrow \Omega_1.dy_1 = -\frac{\Omega_1.\Omega_2}{\Omega_1 + \Omega_2} .dH = -C.dH \quad (3)$$

Từ (1), (2), (3) ta có:

$$\mu_t = \frac{q}{\omega\sqrt{2g.H_t}} = \frac{\Omega_1.dy_1}{\omega\sqrt{2g.H_t}.dt} = \frac{-C.dH}{\omega\sqrt{2g.H_t}.dt} \Rightarrow \mu_t dt = \frac{-C.dH}{\omega\sqrt{2g.H_t}}$$

Tích phân 2 vế ta có:

$$\int_0^t \mu_t dt = \int_H^{H_t} \frac{-C.dH}{\omega\sqrt{2g.H_t}} = \frac{-C}{\omega\sqrt{2g}} \cdot \int_H^{H_t} H_t^{-1/2} dH = \frac{-C}{\omega\sqrt{2g}} \cdot 2(\sqrt{H_t} - \sqrt{H})$$

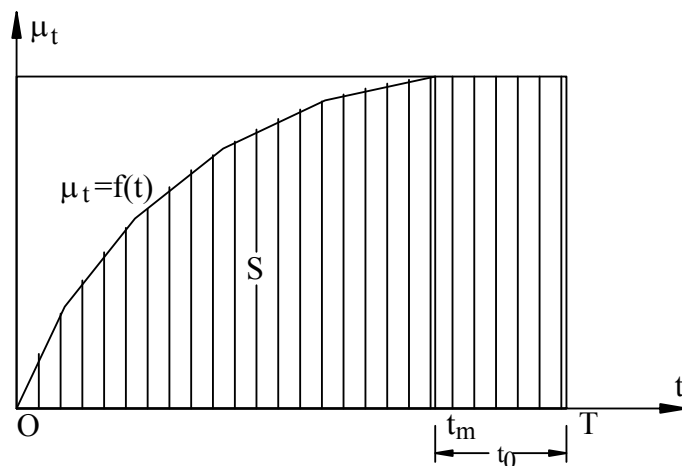
$$\Rightarrow \int_0^t \mu_t dt = \frac{-C}{\omega\sqrt{2g}} \cdot 2(\sqrt{H_t} - \sqrt{H}) \quad (5-31) \text{ (Công thức cần chứng minh)}$$

Trong đó:

H - cột nước chênh lệch ban đầu (lúc $t=0$)

H_t - cột nước chênh lệch tại thời điểm t .

Hệ số lưu lượng μ_t là một hàm của thời gian $\mu_t=f(t)$ và được biểu diễn bằng đồ thị như hình 5.24



Hình 5.24: Đồ thị biểu diễn $\mu_t = \mu_t(t)$

T: Thời gian cấp tháo nước xong.

t_m : thời gian mở xong cửa van

t_0 : thời gian từ lúc mở xong cửa van đến lúc cấp tháo nước xong.

5.9.1.1. Trong khoảng thời gian từ $0 \rightarrow t_m$:

Ta có thời gian mở van t_m là:

$$t_m = \frac{2C(\sqrt{H} - \sqrt{H_m})}{\alpha \cdot \mu \cdot \omega \sqrt{2g}} \quad (5-33)$$

H_m - Cột nước chênh lệch tại thời điểm vừa mở xong cửa van

Chứng minh công thức (5-33):

Từ công thức (5-31) xét cho thời gian $0 \rightarrow t_m$ ta có:

$$\int_0^{t_m} \mu_t dt = \frac{-C}{\omega \sqrt{2g}} \cdot 2(\sqrt{H_m} - \sqrt{H}) = S$$

Đặt: $\alpha = \frac{S}{\mu \cdot t_m}$: Hệ số phụ thuộc vào loại cửa van và hệ số μ của hệ thống cấp tháo nước.

$$\rightarrow S = \alpha \cdot \mu \cdot t_m$$

$$\Rightarrow \alpha \cdot \mu \cdot t_m = \frac{C}{\omega \sqrt{2g}} \cdot 2(\sqrt{H} - \sqrt{H_m})$$

$$\Rightarrow t_m = \frac{2C(\sqrt{H} - \sqrt{H_m})}{\alpha \cdot \mu \cdot \omega \sqrt{2g}} \quad (5-33) \text{ (Công thức cần chứng minh)}$$

5.9.1.2. Trong khoảng thời gian từ $t_m \rightarrow T$:

Ta có thời gian từ lúc mở van xong đến khi cấp tháo nước xong t_0 là:

$$t_0 = \frac{2C\sqrt{H_m}}{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}} \quad (5-34)$$

Chứng minh công thức (5-34):

Từ công thức (5-31) xét cho thời gian $t_m \rightarrow T$ ta có:

$$\int_{t_m}^T \mu_t dt = \frac{-C}{\omega\sqrt{2g}} \cdot 2(0 - \sqrt{H_m})$$

$$\Rightarrow t_0 = T - t_m = \frac{2C\sqrt{H_m}}{\mu\omega\sqrt{2g}} \quad (5-34) \text{ (Công thức cần chứng minh)}$$

5.9.1.3. Tính toán thời gian cấp tháo nước T:

Ta có toàn bộ thời gian cấp tháo kể từ khi mở van đến khi cấp tháo xong nước là:

$$T = \frac{2C\sqrt{H}}{\mu\omega\sqrt{2g}(1 - (1-\alpha)k_m)} \quad (5-35)$$

Chứng minh công thức (5-35):

Ta có tổng thời gian cấp tháo nước xong hoàn toàn là: $T = t_m + t_0$

$$\rightarrow t_0 = T - t_m = T(1 - k_m)$$

với $k_m = \frac{t_m}{T}$: Tỷ số giữa thời gian mở van và thời gian cấp tháo nước xong

$$\rightarrow T = \frac{t_0}{1 - k_m} = \frac{2C\sqrt{H_m}}{\mu\omega\sqrt{2g}(1 - k_m)} \rightarrow \sqrt{H_m} = \frac{\mu\omega\sqrt{2g}}{2C}(1 - k_m)T \quad (1)$$

$$\text{Đồng thời ta cũng có: } T = t_m + t_0 = \frac{2C(\sqrt{H} - \sqrt{H_m})}{\alpha\mu\omega\sqrt{2g}} + \frac{2C\sqrt{H_m}}{\mu\omega\sqrt{2g}}$$

$$\Rightarrow T = \frac{2C}{\alpha\mu\omega\sqrt{2g}} [\sqrt{H} - (1-\alpha)\sqrt{H_m}]$$

$$\text{Thay (1) vào ta có: } \Rightarrow T = \frac{2C}{\alpha\mu\omega\sqrt{2g}} \left[\sqrt{H} - (1-\alpha) \frac{\mu\omega\sqrt{2g}}{2C} (1-k_m)T \right]$$

$$\Rightarrow \frac{\mu\omega\sqrt{2g}}{2C} [\alpha + (1+\alpha)(1-k_m)] T = \sqrt{H}$$

$$\Rightarrow T = \frac{2C\sqrt{H}}{\mu\omega\sqrt{2g}(1 - (1-\alpha)k_m)} \quad (5-35) \text{ (Công thức cần chứng minh)}$$

Hệ số α phụ thuộc vào loại cửa van và hệ số μ của hệ thống cấp tháo nước, α lấy theo bảng:

Bảng 5.2: Giá trị α phụ thuộc vào loại cửa van và hệ số μ

	Giá trị α với μ của hệ thống C.T.N
--	---

Loại van	Giá trị α với μ của hệ thống C.T.N			
	$\mu = 0,5$	$\mu = 0,6$	$\mu = 0,7$	$\mu = 0,8$
-Van phẳng (mép dưới nhọn)	0,63	0,59	0,56	0,53
- Van cung	0,65	0,61	0,58	0,56
- Van hình trụ	0,71	0,67	0,64	0,56
- Van quay	0,57	0,53	0,50	0,47

Để đơn giản ta thường lấy $\alpha = 0,5$, do đó:

$$T = \frac{4C\sqrt{H}}{\mu.\omega\sqrt{2g}(2-k_m)} \quad (5-36)$$

Từ (5-36) ta xác định được diện tích tiết diện ngang công dẫn nước ω (cả 2 bên)

$$\omega = \frac{4C\sqrt{H}}{\mu.T\sqrt{2g}(2-k_m)} \quad (5-37)$$

5.9.2. Trường hợp mở van đột ngột:

Nếu mở van đột ngột, $t_m = 0 \Rightarrow \mu_t = \mu = \text{const}$ và ta có:

$$T = t_0 = \frac{2C\sqrt{H}}{\mu.\omega\sqrt{2g}} \quad (5-38)$$

$$\text{Và } \omega = \frac{2C\sqrt{H}}{\mu.T\sqrt{2g}} \quad (5-39)$$

Khi tính toán sơ bộ, người ta giả thiết $\mu = \text{const}$ và lấy như sau:

$\mu = 0,7 \div 0,8$: Cấp tháo nước qua lỗ đơn giản:

$\mu = 0,6 \div 0,7$: Qua ống dẫn ngắn:

$\mu = 0,5 \div 0,6$: Qua ống dẫn dài:

Hệ số k_m lấy như sau:

$k_m = 0,5 \div 0,7$: với ống dẫn ngắn.

$k_m = 0,3 \div 0,5$: với ống dẫn dài (ở hệ thống cấp tháo nước phân tán)

5.10. Đường đặc tính thủy lực.

Đường đặc tính thủy lực là đường biểu thị quan hệ giữa thời gian với mực nước, cột nước chênh lệch, lưu lượng, năng lượng trong một đơn vị thời gian của dòng chảy (tỷ năng), tốc độ đóng mở van, hệ số lưu lượng. Nó giúp ta kiểm nghiệm lại điều kiện ổn định trong âu tàu. Do đó trong tính toán thủy lực âu tàu, ta cần phải vẽ đường đặc tính thủy lực.

Công việc này tiến hành ở giai đoạn cuối cùng của công tác thiết kế, khi mà đã chọn kiểu cửa van, thời gian đóng mở van và xác định được các kích thước cơ bản của Âu.

5.10.1. Nguyên lý xây dựng các đường đặc tính thủy lực:

Đường đặc tính thủy lực bao gồm:

- Đường quan hệ giữa tốc độ đóng mở van và thời gian $n_t = n_t(t)$

- Đường quan hệ giữa hệ số lưu lượng và thời gian $\mu_t = \mu_t(t)$
- Đường quan hệ giữa cột nước chênh lệch và thời gian $H_t = H_t(t)$
- Đường quan hệ giữa mực nước và thời gian $y_t = y_t(t)$
- Đường quan hệ giữa lưu lượng và thời gian $Q = Q(t)$
- Đường quan hệ giữa biến thiên lưu lượng $\frac{dQ}{dt}$ và thời gian $dQ = dQ(t)$
- Đường quan hệ giữa năng lượng dòng chảy (tỷ năng) và thời gian $e=e(t)$

Và sau đây là nguyên lý xây dựng các đường đặc trưng thủy lực:

5.10.1.1. Đường quan hệ giữa hệ số lưu lượng và thời gian $\mu_t = \mu_t(t)$:

Thông thường đường này được xác định dựa theo loại van mà hệ thống cấp tháo sử dụng, nếu mở van đột ngột để đạt tới vị trí ổn định thì ta có hệ số lưu lượng là không đổi theo thời gian, nếu mở van từ từ thì thường có một điều kiện nào đấy, ví dụ như để hệ số lưu lượng biến đổi bậc nhất theo thời gian, các trường hợp phức tạp hơn thì xác định giá trị μ_t ở các thời điểm khác nhau của thời gian t.

5.10.1.2. Đường quan hệ giữa tốc độ đóng mở van và thời gian $n_t = n_t f(t)$

Mức độ mở van cấp tháo nước quyết định hệ số lưu lượng của đường ống dẫn nước, do đó nếu có cấu tạo van, hệ thống đường ống và hàm $\mu_t = \mu_t(t)$, ta dễ dàng xác định được độ mở của van cũng như tốc độ đóng mở van (đạo hàm bậc nhất của độ mở của van).

5.10.1.3. Đường quan hệ giữa cột nước chênh lệch và thời gian $H_t = H_t(t)$

Từ đường quan hệ $\mu_t = \mu_t(t)$ ta sẽ xác định được đường quan hệ $H_t = H_t(t)$ theo công thức (5-31): $\int_0^t \mu_t dt = \frac{-C}{\omega\sqrt{2g}} \cdot 2(\sqrt{H_t} - \sqrt{H})$ hay ta có:

$$H_t = \left(\sqrt{H} - \frac{\omega\sqrt{2g}}{2.C} \cdot \int_0^t \mu_t dt \right)^2 \quad (5-40)$$

5.10.1.4. Đường quan hệ giữa thời gian và mực nước $y_t = y_t(t)$

Khi có sự thay đổi độ chênh mực nước theo thời gian $H_t = H_t(t)$ ta dễ dàng xác định được sự thay đổi mực nước trong Âu theo thời gian $y_t = y_t(t)$ do thông thường trong quá trình cấp cũng như tháo, mực nước thượng lưu và hạ lưu ổn định.

5.10.1.5. Đường quan hệ giữa lưu lượng và thời gian $Q = Q(t)$

Kết hợp sự thay đổi độ chênh mực nước $H_t = H_t(t)$ và sự thay đổi hệ số lưu lượng $\mu_t = \mu_t(t)$ ta xác định được sự thay đổi lưu lượng theo thời gian $Q = Q(t)$ theo công thức đã xây dựng (5-32): $Q(t) = \omega \cdot \mu_t(t) \sqrt{2g \cdot H_t(t)}$

Và cũng từ đó đạo hàm bậc nhất đường biến thiên lưu lượng $Q = Q(t)$ ta có Đường quan hệ giữa biến thiên lưu lượng và thời gian $dQ = dQ(t)$

5.10.1.6. Đường quan hệ giữa năng lượng dòng chảy (tỷ năng) và thời gian $e=e(t)$

Xuất phát từ công thức tính năng lượng trong một đơn vị thời gian: $e = \gamma.Q.H_t$, ta có sự biến thiên năng lượng dòng chảy trên một đơn vị thời gian theo thời gian là $e(t) = \gamma.Q(t).H_t(t)$

Sau đây ta sẽ cụ thể hoá nguyên lý xây dựng các đường đặc trưng thủy lực cho hai trường hợp mở van thông dụng trong Âu tàu hiện nay:

- Mở van đột ngột
- Mở van từ từ để hệ số lưu lượng thay đổi tuyến tính.

5.10.2. Đường đặc tính thủy lực cho trường hợp mở van đột ngột:

Sau đây ta sẽ xây dựng các đường đặc tính thủy lực cho trường hợp đơn giản nhất: Mở van đột ngột để hệ số lưu lượng tăng đến ngay giá trị lớn nhất $\mu_t = \mu$, ta có:

5.10.2.1. Tốc độ đóng mở van n:

Đầu tiên tốc độ đóng mở van sẽ là ∞ , sau đó sẽ bằng 0:

$$n(t) = \begin{cases} \infty & \text{khi } t = 0 \\ 0 & \text{khi } t > 0 \end{cases}$$

5.10.2.2. Hệ số lưu lượng:

Do mở van đột ngột thời gian mở van $t_m = 0$, ta có hệ số lưu lượng tăng đột ngột đến giá trị ổn định: $\mu_t = \mu = const$ tức là:

$$\mu(t) = \mu$$

5.10.2.3. Cột nước chênh lệch - Mực nước:

Theo công thức (5-40) của phần nguyên lý xây dựng đường quan hệ mực nước chênh lệch với thời gian: $H_t = \left(\sqrt{H} - \frac{\omega\sqrt{2g}}{2.C} \int_0^t \mu_t dt \right)^2$

Áp dụng cho trường hợp đang xét là mở van đột ngột ($\mu = const$) ta có:

$$H_t(t) = \left(\sqrt{H} - \frac{\mu.\omega\sqrt{2g}}{2.C} .t \right)^2 \quad (5-41)$$

Từ đó ta xác định được mực nước trong Âu:

- Khi cấp nước: Mực nước thượng lưu ổn định, mực nước trong Âu tăng dần:

$$y_1(t) = y_0 + H - H_t(t) \quad (5-42)$$

Trong đó: y_0 - Mực nước ban đầu trong Âu, chính là mực nước hạ lưu.

H- Mực nước chênh lệch ban đầu, chính là chênh lệch mực nước thượng lưu - hạ lưu.

- Khi tháo nước: Mực nước hạ lưu ổn định, mực nước trong Âu giảm dần:

$$y_2(t) = y_0 - (H - H_t(t)) \quad (5-43)$$

Trong đó:

y_0 - Mực nước ban đầu trong Âu, là mực nước thượng lưu.

H- Mục nước chênh lệch ban đầu.

5.10.2.4. Lưu lượng:

Theo công thức tính lưu lượng trong ống cấp tháo nước (5-32): $Q(t) = \omega \cdot \mu_t(t) \cdot \sqrt{2g \cdot H_t(t)}$ và với công thức vừa xây dựng được ở trên (5-41):

$$H_t(t) = \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot t \right)^2$$

Áp dụng cho trường hợp mở van đột ngột ($\mu = const$) ta có:

$$Q(t) = \omega \cdot \mu \sqrt{2g} \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot t \right) \quad (5-44)$$

5.10.2.5. Độ biến thiên lưu lượng:

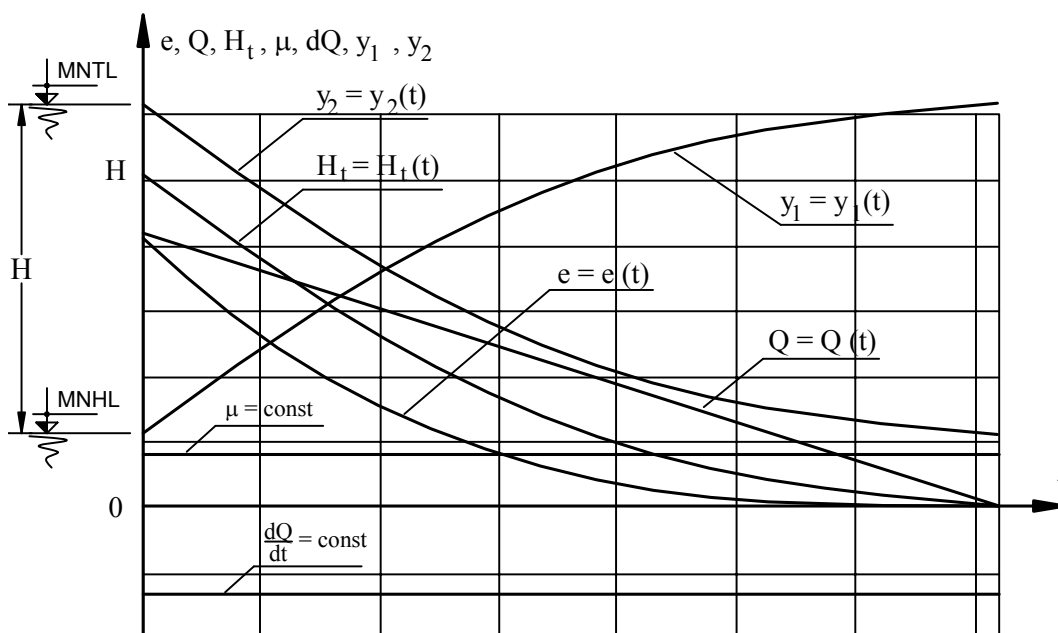
Từ công thức xác định lưu lượng trên đạo hàm bậc nhất ta có được sự biến thiên lưu lượng trong ống cấp tháo nước:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = - \frac{\mu^2 \cdot \omega^2 \cdot g}{C} = const \quad (5-45)$$

5.10.2.6. Năng lượng dòng chảy (tỷ năng):

Theo như phân nguyên lý đã trình bày ta có năng lượng dòng chảy cấp tháo trong một đơn vị thời gian:

$$e(t) = \gamma \cdot Q(t) \cdot H_t(t) = \gamma \cdot \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \cdot \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot t \right)^3 \quad (5-46)$$



Hình 5.25: Đường đặc tính thủy lực cho trường hợp mở van đột ngột

5.10.3. Đường đặc tính thủy lực cho trường hợp mở van từ từ:

Sau đây ta sẽ xây dựng các đường đặc tính thủy lực cho trường hợp mở van từ từ để hệ số lưu lượng thay đổi theo đường thẳng: $\mu_t(t) = a \cdot t$, ta có:

5.10.3.1. Tốc độ đóng mở van n:

5.10.3.2. Hệ số lưu lượng:

Do mở van để hệ số lưu lượng thay đổi tuyến tính: $\mu_t(t) = at$.

Xác định a: Là hệ số sao cho sau thời gian t_m hệ số lưu lượng $\mu_t(t)$ tăng tới giá trị lớn nhất μ : $a = \frac{\mu}{t_m}$

$$\text{Vậy: } \mu(t) = \begin{cases} \frac{\mu}{t_m} \cdot t & \text{khi } 0 \leq t < t_m \\ \mu & \text{khi } t_m \leq t \leq T \end{cases}$$

5.10.3.3. Cột nước chênh lệch - Mức nước:

Theo công thức xác định cột nước chênh lệch (5-40): $H_t = \left(\sqrt{H} - \frac{\omega\sqrt{2g}}{2.C} \cdot \int_0^t \mu_t dt \right)^2$ áp

dụng cho trường hợp đang xét là mở van từ từ ($\mu_t(t) = \frac{\mu}{t_m} \cdot t$) ta có:

- Trong thời gian: $0 \leq t < t_m$

$$\int_0^t \mu_t dt = \int_0^t \frac{\mu}{t_m} \cdot t dt = \frac{\mu}{t_m} \cdot \frac{t^2}{2}$$

$$\Rightarrow H_t(t) = \left(\sqrt{H} - \frac{\omega\sqrt{2g}}{2.C} \cdot \frac{\mu}{t_m} \cdot \frac{t^2}{2} \right)^2$$

- Tại thời điểm vừa mở van xong: $t = t_m$

$$H_m = H_t(t_m) = \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega\sqrt{2g}}{2.C} \cdot \frac{t_m}{2} \right)^2 \quad (5-47)$$

- Trong thời gian: $t_m \leq t \leq T$

Áp dụng công thức (5-40) ta có: $H_t(t) = \left(\sqrt{H_m} - \frac{\omega\sqrt{2g}}{2.C} \cdot \int_{t_m}^t \mu_t dt \right)^2$

$$\text{Mặt khác: } \int_{t_m}^t \mu_t dt = \int_{t_m}^t \mu dt = \mu \cdot (t - t_m)$$

$$\Rightarrow H_t(t) = \left(\sqrt{H_m} - \frac{\omega\sqrt{2g}}{2.C} \cdot \mu \cdot (t - t_m) \right)^2$$

Tổng hợp lại ta có:

$$H_t(t) = \begin{cases} \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{2 \cdot t_m} \right)^2 & \text{khi } 0 \leq t < t_m \\ \left(\sqrt{H_m} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot (t - t_m) \right)^2 & \text{khi } t_m \leq t \leq T \end{cases} \quad (5-48)$$

Từ đó ta xác định được mực nước trong Âu:

- Khi cấp nước: Mực nước thượng lưu ổn định, mực nước trong Âu tăng dần:

$$y_1(t) = y_0 + H - H_t(t)$$

- Khi tháo nước: Mực nước hạ lưu ổn định, mực nước trong Âu giảm dần:

$$y_2(t) = y_0 - (H - H_t(t))$$

5.10.3.4. Lưu lượng:

Theo phần trước ta có vận tốc trong ống cấp tháo nước: $Q = \omega \cdot \mu_t \cdot \sqrt{2g \cdot H_t}$, áp dụng cho trường hợp mở van từ từ, ta có:

- Trong thời gian: $0 \leq t < t_m$

$$H_t(t) = \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{2 \cdot t_m} \right)^2; \mu_t(t) = \frac{\mu}{t_m} \cdot t$$

$$\Rightarrow Q(t) = \omega \cdot \sqrt{2g} \cdot \mu_t(t) \cdot \sqrt{H_t(t)} = \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{2 \cdot t_m} \right) \cdot \frac{t}{t_m}$$

- Trong thời gian: $t_m \leq t \leq T$

$$H_t(t) = \left(\sqrt{H_m} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot (t - t_m) \right)^2; \mu_t(t) = \mu$$

$$\Rightarrow Q(t) = \omega \cdot \sqrt{2g} \cdot \mu_t(t) \cdot \sqrt{H_t(t)} = \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \left(\sqrt{H_m} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot (t - t_m) \right)$$

Tổng hợp lại:

$$Q(t) = \begin{cases} \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{2 \cdot t_m} \right) \cdot \frac{t}{t_m} & \text{khi } 0 \leq t < t_m \\ \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \left(\sqrt{H_m} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot (t - t_m) \right) & \text{khi } t_m \leq t \leq T \end{cases} \quad (5-49)$$

$$\text{Với: } H_m = \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot \frac{t_m}{2} \right)^2 \quad (\text{Công thức 5-47})$$

5.10.3.5. Độ biến thiên lưu lượng:

Độ biến thiên lưu lượng chính là đạo hàm bậc nhất theo thời gian của lưu lượng: $dQ(t) = \frac{dQ(t)}{t}$ và cũng chia làm 2 thời kỳ $0 < t < t_m$ và $t_m \leq t \leq T$.

$$dQ(t) = \begin{cases} \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \left(\frac{\sqrt{H}}{t_m} - \frac{3}{4} \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{t_m^2} \right) & \text{khi } 0 \leq t < t_m \\ -\frac{\mu^2 \cdot \omega^2 \cdot g}{C} & \text{khi } t_m \leq t \leq T \end{cases} \quad (5-50)$$

5.10.3.6. Năng lượng dòng chảy (tỷ năng):

Theo như phân nguyên lý đã trình bày ta có năng lượng dòng chảy cấp tháo trong một đơn vị thời gian: $e(t) = \gamma \cdot Q(t) \cdot H_t(t)$, áp dụng cho trường hợp mở van từ từ, ta có:

- Trong thời gian: $0 \leq t < t_m$

$$H_t(t) = \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{2 \cdot t_m} \right)^2; \quad Q(t) = \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{2 \cdot t_m} \right) \cdot \frac{t}{t_m}$$

$$\Rightarrow e(t) = \gamma \cdot Q(t) \cdot H_t(t) = \gamma \cdot \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{2 \cdot t_m} \right)^3 \cdot \frac{t}{t_m}$$

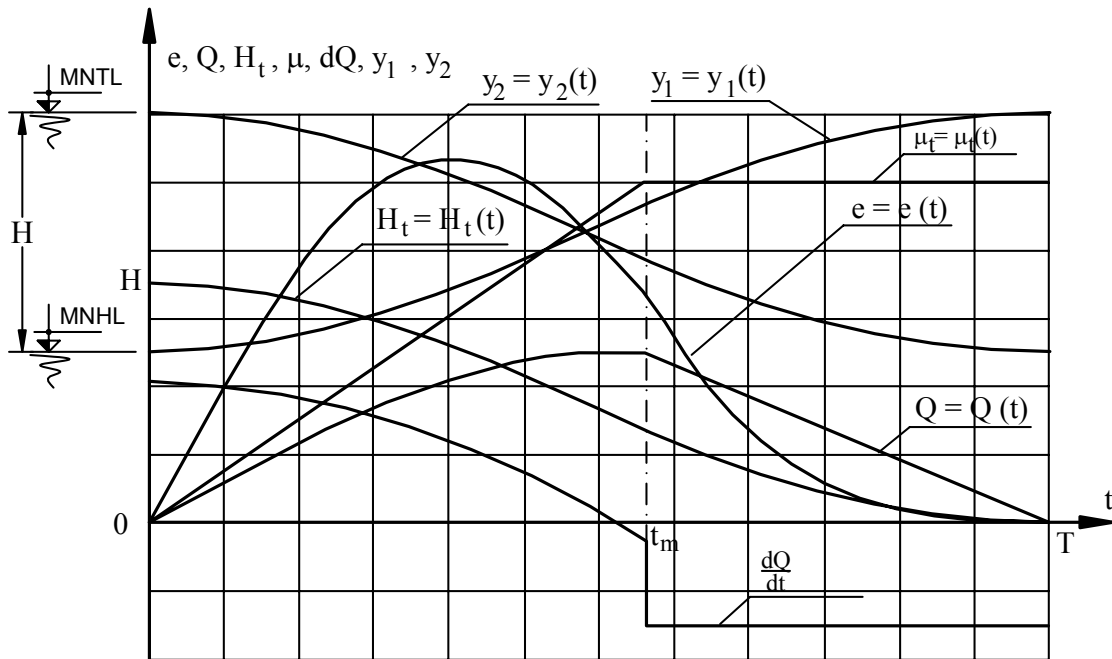
- Trong thời gian: $t_m \leq t \leq T$

$$H_t(t) = \left(\sqrt{H_m} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot (t - t_m) \right)^2; \quad Q(t) = \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \left(\sqrt{H_m} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot (t - t_m) \right)$$

$$\Rightarrow e(t) = \gamma \cdot \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \left(\sqrt{H_m} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot (t - t_m) \right)^3$$

Tổng hợp lại:

$$e(t) = \begin{cases} \gamma \cdot \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{2 \cdot t_m} \right)^3 \cdot \frac{t}{t_m} & \text{khi } 0 \leq t < t_m \\ \gamma \cdot \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \left(\sqrt{H_m} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2 \cdot C} \cdot (t - t_m) \right)^3 & \text{khi } t_m \leq t \leq T \end{cases} \quad (5-51)$$



Hình 5.26: Đường đặc tính thủy lực cho mở van từ từ

5.10.4. Các trị số thủy lực đặc trưng :

Là các trị số ảnh hưởng nhiều nhất đến điều kiện đầu tàu trong âu, việc xác định giá trị của chúng cũng như thời điểm chúng xuất hiện rất có ý nghĩa trong việc kiểm tra ổn định của Âu tàu khi thực hiện cấp tháo nước bùong Âu. Các trị số thủy lực đặc trưng bao gồm: Lưu lượng lớn nhất Q_{max} , năng lượng lớn nhất e_{max} , độ tăng, giảm lưu lượng lớn nhất:

$$\text{nhất: } \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{max}^+, \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{max}^-$$

5.10.4.1. Trường hợp mở van đột ngột:

Các giá trị lưu lượng lớn nhất, năng lượng lớn nhất cùng xuất hiện vào thời điểm ban đầu ($t=0$) khi vừa mở van cấp tháo và có độ chênh mực nước là lớn nhất ($H_t=H$):

Lưu lượng lớn nhất:

$$Q_{max} = \mu \cdot \omega \sqrt{2gH} = \frac{2 \cdot C \cdot H}{T}$$

Năng lượng lớn nhất:

$$e_{max} = \gamma \cdot Q_{max} \cdot H = \gamma \cdot \frac{2 \cdot C \cdot H^2}{T}$$

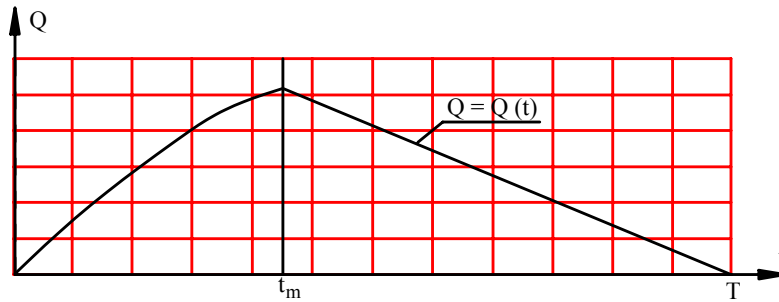
Và do lưu lượng biến thiên bậc nhất theo thời gian nên: $\frac{dQ}{dt} = -\frac{\mu^2 \cdot \omega^2 \cdot g}{C} = const$

5.10.4.2. Trường hợp mở van từ từ:

* Lưu lượng lớn nhất Q_{max} :

Theo giáo sư Mikhailốp, lúc cửa van mở từ từ và hệ số μ_t biến đổi theo đường thẳng thì Q_{max} tính theo 2 trường hợp sau:

Khi $t_m \leq 0,5T$: Q_{max} sẽ xuất hiện vào lúc van vừa mở hoàn toàn



Hình 5.27: Lưu lượng cấp tháo khi $t_m < 0,5T$

$$Q_{max} = \frac{8.C.H(1-k_m)}{T(2-k_m)^2} \quad (5-52)$$

$$\text{Vào thời điểm: } \begin{cases} t = t_m = k_m.T \\ H_t = H_m = 4 \cdot \left(\frac{1-k_m}{2-k_m} \right)^2 H \end{cases} \quad (5-53)$$

Chứng minh công thức (5-52) (5-53):

Trong trường hợp mở van từ từ ta có thời gian cấp tháo:

$$T = \frac{4C\sqrt{H}}{\mu.\omega\sqrt{2g}(2-k_m)} \quad (\text{Công thức 5-36})$$

$$\rightarrow \frac{\mu.\omega\sqrt{2g}}{4C} = \frac{\sqrt{H}}{T(2-k_m)} \quad (1)$$

Tại thời điểm mở van hoàn toàn $t = t_m = k_m.T$ ta có:

$$\text{- Mức nước chênh lệch theo công thức (5-47): } H_m = \left(\sqrt{H} - \frac{\mu.\omega\sqrt{2g}}{2.C} \cdot \frac{t_m}{2} \right)^2 \text{ thay (1)}$$

$$\text{vào ta có: } \rightarrow H_m = \left(\sqrt{H} - \frac{\sqrt{H}}{T(2-k_m)} \cdot k_m.T \right)^2 = \left(1 - \frac{k_m}{2-k_m} \right)^2 H$$

$$\Rightarrow H_m = 4 \cdot \left(\frac{1-k_m}{2-k_m} \right)^2 H \quad (5-53-2)$$

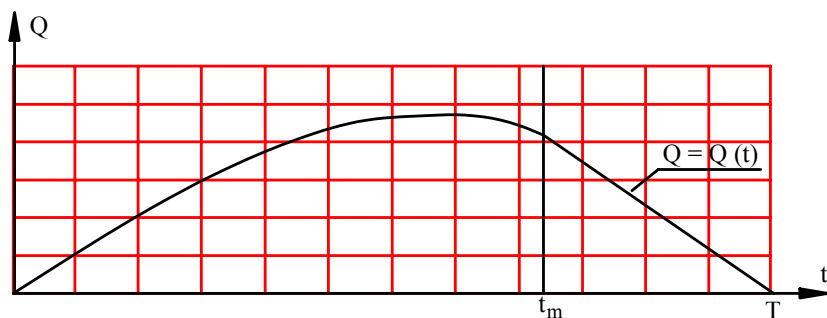
- Lưu lượng theo công thức (5-31) lớn nhất xuất hiện tại thời điểm $t = t_m$:

$$Q_{max} = \mu.\omega\sqrt{2g}\sqrt{H_m}, \text{ thay (5-53-2) vào ta có:}$$

$$Q_{max} = \mu.\omega\sqrt{2g} \cdot 2 \cdot \left(\frac{1-k_m}{2-k_m} \right) \cdot \sqrt{H} = \frac{4C\sqrt{H}}{T(2-k_m)} \cdot 2 \cdot \left(\frac{1-k_m}{2-k_m} \right) \cdot \sqrt{H}$$

$$\Rightarrow Q_{max} = \frac{8C.H}{T} \frac{1-k_m}{(2-k_m)^2} \quad (5-52) \text{ (Công thức cần chứng minh)}$$

Khi $t_m > 0,5T$: Q_{max} sẽ xuất hiện vào lúc đang mở van



Hình 5.28: Lưu lượng cấp tháo khi $t_m > 0,5T$

$$Q_{max} = \frac{8}{3\sqrt{3}} \frac{C.H}{T\sqrt{(2-k_m)k_m}} \quad (5-54)$$

$$Q_{max} \text{ có vào thời điểm: } \begin{cases} t = \frac{T}{\sqrt{3}} \sqrt{(2-k_m)k_m} \\ H_t = \frac{4}{9} H \end{cases} \quad (5-55)$$

Chứng minh công thức (5-54) (5-55):

Trong trường hợp mở van từ từ ta có lưu lượng dòng cấp tháo lớn nhất khi đang mở van. Theo toán học, cực trị của một hàm số thường là tại điểm mà đạo hàm bậc nhất của hàm số bằng 0, ta có đạo hàm bậc nhất của lưu lượng theo công thức (5-50-1)

$$dQ(t) = \mu.\omega\sqrt{2g} \left(\frac{\sqrt{H}}{t_m} - \frac{3}{2} \frac{\mu.\omega\sqrt{2g}}{4.C} \cdot \frac{t^2}{t_m^2} \right)$$

$$dQ(t) = 0 \text{ khi } \frac{\sqrt{H}}{t_m} = \frac{3}{2} \frac{\mu.\omega\sqrt{2g}}{4.C} \cdot \frac{t^2}{t_m^2}$$

$$\rightarrow t^2 = \frac{\sqrt{H}.t_m}{3 \cdot \frac{\mu.\omega\sqrt{2g}}{4.C}} = \frac{\sqrt{H}.k_m.T}{3 \cdot \frac{\sqrt{H}}{T(2-k_m)}} = \frac{T^2}{3} (2-k_m)k_m$$

$$\Rightarrow t = \frac{T}{\sqrt{3}} \sqrt{(2-k_m)k_m} \quad (5-55-1)$$

Vào thời điểm này mực nước chênh lệch theo công thức (5-48-1):

$$H_t = \left(\sqrt{H} - \frac{\mu.\omega\sqrt{2g}}{4.C} \cdot \frac{t^2}{t_m} \right)^2 = \left(\sqrt{H} - \frac{\mu.\omega\sqrt{2g}}{4.C} \cdot \frac{T^2(2-k_m)k_m}{3.t_m} \right)^2 = \left(\sqrt{H} - \frac{\sqrt{H}}{T(2-k_m)} \cdot \frac{T(2-k_m)k_m}{3} \right)^2$$

$$\Rightarrow H_t = \frac{4}{9} H \quad (5-55-2)$$

* Tìm Q_{max} : Thay thời gian và cột nước chênh lệch tìm được ở trên vào công thức lưu lượng (5-49-1) ta có:

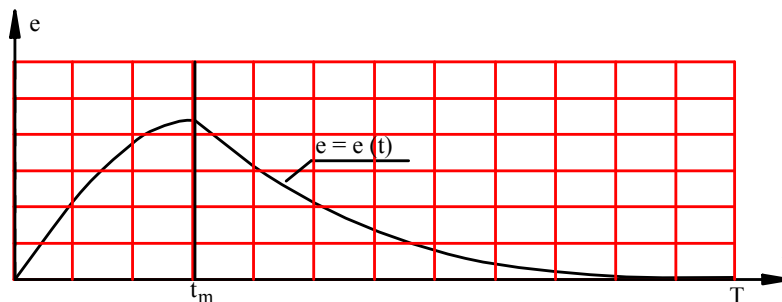
$$Q_{\max} = \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \sqrt{H_i} \cdot \frac{t}{t_m} = \frac{4C\sqrt{H}}{T(2-k_m)} \cdot \frac{2}{3} H \frac{T\sqrt{(2-k_m)k_m}}{\sqrt{3k_m}T}$$

$$\Rightarrow Q_{\max} = \frac{8}{3\sqrt{3}} \frac{C.H}{T\sqrt{(2-k_m)k_m}} \quad (\text{Công thức 5-54 cần chứng minh})$$

* Năng lượng lớn nhất e_{\max} :

Theo giáo sư Mikhailốp, lúc cửa van mở từ từ và hệ số μ biến đổi theo đường thẳng thì Năng lượng lớn nhất của dòng chảy vào buồng âu e_{\max} (không tính đến tổn thất trong cống dẫn hoặc ở buồng tiêu năng) tính theo 2 trường hợp sau:

Khi $t_m \leq 0,25T$: e_{\max} sẽ xuất hiện vào lúc van vừa mở hoàn toàn



Hình 5.29: Năng lượng đơn vị của dòng chảy khi $t_m < 0,25T$

$$e_{\max} = 32 \cdot \frac{\gamma \cdot C \cdot H^2}{T} \frac{(1-k_m)^3}{(2-k_m)^4} \quad (5-56)$$

Vào thời điểm:
$$\begin{cases} t = t_m = k_m \cdot T \\ H_i = H_m = 4 \cdot \left(\frac{1-k_m}{2-k_m} \right)^2 H \end{cases} \quad (5-57)$$

Chứng minh công thức (5-56) (5-57):

Tại thời điểm mở van hoàn toàn $t = t_m = k_m \cdot T$ ta có:

- Mức nước chênh lệch theo công thức (5-47): $H_m = \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{2C} \cdot \frac{t_m}{2} \right)^2$ thay $\frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{4C} = \frac{\sqrt{H}}{T(2-k_m)}$ vào ta có:
$$\rightarrow H_m = \left(\sqrt{H} - \frac{\sqrt{H}}{T(2-k_m)} \cdot k_m \cdot T \right)^2 = \left(1 - \frac{k_m}{2-k_m} \right)^2 \cdot H$$

$$\Rightarrow H_m = 4 \cdot \left(\frac{1-k_m}{2-k_m} \right)^2 \cdot H \quad (5-57-2)$$

- Lưu lượng theo công thức (5-49-1) xuất hiện tại thời điểm $t = t_m$: $Q_m = \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \sqrt{H_m}$, thay (5-57-2) vào ta có:

$$Q_m = \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \cdot 2 \cdot \left(\frac{1-k_m}{2-k_m} \right) \cdot \sqrt{H} = \frac{4C\sqrt{H}}{T(2-k_m)} \cdot 2 \cdot \left(\frac{1-k_m}{2-k_m} \right) \cdot \sqrt{H} = \frac{8C.H}{T} \frac{1-k_m}{(2-k_m)^2}$$

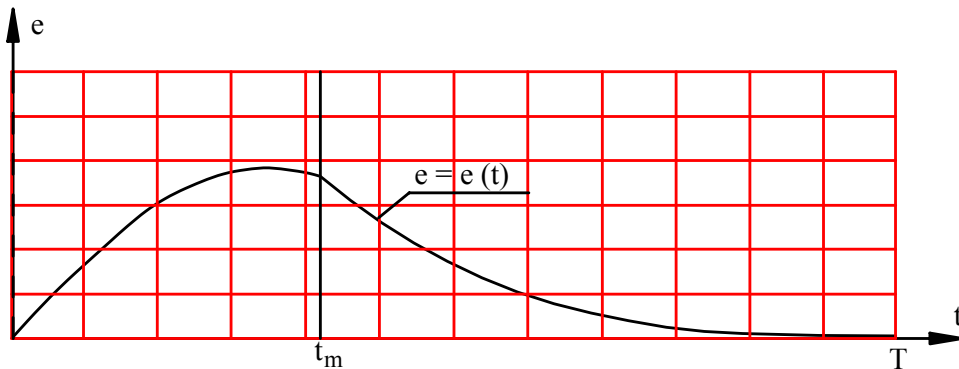
- Từ đó ta có năng lượng lớn nhất tại thời điểm này là: Thay thời gian và cột nước chênh lệch tìm được ở trên vào công thức

$e(t) = \gamma \cdot Q(t) \cdot H_t(t)$ ta có:

$$e_{\max} = \gamma \cdot \frac{8CH}{T} \frac{1-k_m}{(2-k_m)^2} 4 \left(\frac{1-k_m}{2-k_m} \right)^2 \cdot H$$

$$\Rightarrow e_{\max} = 32 \cdot \frac{\gamma \cdot C \cdot H^2}{T} \frac{(1-k_m)^3}{(2-k_m)^4} \quad (5-56) \text{ (Công thức cần chứng minh)}$$

Khi $t_m > 0,25T$: e_{\max} sẽ xuất hiện vào lúc đang mở van



Hình 5.31: Năng lượng đơn vị của dòng chảy khi $t_m > 0,25T$

$$e_{\max} = \frac{864}{343\sqrt{7}} \frac{CH^2}{T \sqrt{\sqrt{(2-k_m)k_m}}} \quad (5-58)$$

$$\text{Vào thời điểm: } \begin{cases} t = \frac{T}{\sqrt{7}} \sqrt{(2-k_m)k_m} \\ H_t = \frac{36}{49} H \end{cases} \quad (5-59)$$

Chứng minh công thức (5-58) (5-59):

Trong trường hợp mở van từ từ ta có năng lượng đơn vị dòng cấp tháo lớn nhất khi đang mở van. Theo toán học, cực trị của một hàm số thường là tại điểm mà đạo hàm bậc nhất của hàm số bằng 0, ta có năng lượng dòng cấp tháo theo công thức (5-50-1):

$$e(t) = \gamma \cdot \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{4 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{t_m} \right)^3 \cdot \frac{t}{t_m}$$

Đạo hàm bậc nhất:

$$\begin{aligned} \frac{de(t)}{dt} &= \frac{\gamma \cdot \mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{t_m} \left[\left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{4 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{t_m} \right)^3 - 3 \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{4 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{t_m} \right)^2 \cdot \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{4 \cdot C} \cdot \frac{2 \cdot t}{t_m} \cdot t \right] \\ &= \frac{\gamma \cdot \mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{t_m} \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{4 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{t_m} \right)^2 \left[\sqrt{H} - 7 \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{4 \cdot C} \cdot \frac{t^2}{t_m} \right] \end{aligned}$$

$$\frac{de(t)}{dt} = 0 \text{ khi } \sqrt{H} = 7 \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{4.C} \cdot \frac{t^2}{t_m}$$

$$\rightarrow t^2 = \frac{\sqrt{H} \cdot t_m}{7 \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{4.C}} = \frac{\sqrt{H} \cdot t_m}{7 \frac{\sqrt{H}}{T(2-k_m)}} = \frac{T(2-k_m)k_m}{7}$$

$$\Rightarrow t = \frac{T}{\sqrt{7}} \sqrt{(2-k_m)k_m} \quad (5-59-1)$$

Vào thời điểm này:

- Mức nước chênh lệch theo công thức (3-49-1):

$$H_t = \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{4.C} \cdot \frac{t^2}{t_m} \right)^2 = \left(\sqrt{H} - \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2g}}{4.C} \cdot \frac{T^2(2-k_m)k_m}{7 \cdot t_m} \right)^2 = \left(\sqrt{H} - \frac{\sqrt{H}}{T(2-k_m)} \cdot \frac{T(2-k_m)k_m}{7} \right)^2$$

$$\Rightarrow H_t = \frac{36}{49} H \quad (5-59-2)$$

- Lưu lượng dòng cấp tháo theo công thức:

$$Q_t = \mu \cdot \omega \sqrt{2g} \sqrt{H_t} \cdot \frac{t}{t_m} = \frac{4C\sqrt{H}}{T(2-k_m)} \cdot \frac{6}{7} H \frac{T\sqrt{(2-k_m)k_m}}{\sqrt{7}k_m T}$$

$$\Rightarrow Q_t = \frac{24}{7\sqrt{7}} \frac{C.H}{T\sqrt{(2-k_m)k_m}}$$

: * Tìm e_{\max} : Thay thời gian và cột nước chênh lệch tìm được ở trên vào công thức

$e(t) = \gamma \cdot Q(t) \cdot H_t(t)$ ta có:

$$e_{\max} = \gamma \cdot \frac{24}{7\sqrt{7}} \frac{CH}{T\sqrt{(2-k_m)k_m}} \cdot \frac{36}{49} H$$

$$\Rightarrow e_{\max} = \frac{864}{343\sqrt{7}} \frac{\gamma \cdot CH^2}{T\sqrt{(2-k_m)k_m}} \quad (\text{Công thức 5-58 cần chứng minh})$$

* Độ biến thiên của lưu lượng $\frac{dQ}{dt}$

Độ tăng lưu lượng dòng chảy vào buồng âu hoặc từ buồng âu tháo ra khi hệ số lưu lượng thay đổi theo đường thẳng và vận tốc mở van cố định, có vào lúc bắt đầu cấp nước, nghĩa là khi cột nước chênh lệch lớn nhất.

Trị số đó bằng:

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{\max} = \frac{\mu \cdot \omega \sqrt{2gH}}{t_m} = \frac{4.C.H}{T^2(2-k_m)k_m} \quad (5-60)$$

Độ giảm xuống của lưu lượng theo thời gian sẽ lớn nhất khi mở van hoàn toàn. Trong khoảng thời gian của cả thời kỳ làm đầy buồng với van mở hoàn toàn, trị số này sẽ ổn định và bằng:

$$\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{\max}^{-} = -\frac{\mu^2 \cdot \omega^2 g}{C} = -\frac{8 \cdot C \cdot H}{T^2 (2 - k_m)^2} \quad (5-61)$$

5.11. Kiểm tra thời gian mở van và vận tốc mở van ở hệ thống cấp tháo nước tập trung

Trong quá trình cấp tháo nước âu tàu, có thể mở van cấp tháo theo 2 phương pháp:

- Mở van đều liên tục trong suốt khoảng thời gian t_m ($v = \text{const}$)
- Mở van tăng dần tốc độ

Phương pháp mở van đều liên tục có ưu điểm là thiết bị đơn giản nhưng thời gian cấp tháo nước lâu. Ngược lại mở van tăng dần tốc độ rút ngắn được thời gian cấp tháo nước, nhất là những âu lớn, nhưng trang thiết bị lại phức tạp.

Ở đây ta chỉ xét trường hợp mở van đều liên tục.

5.11.1. Theo điều kiện đậu tàu trong âu:

Trong phần trước ta đã đề cập lực thủy động tác dụng lên tàu do hiện tượng thủy lực cục bộ sinh ra $P = P_1 + P_2 + P_3$ và kết luận là $P = P_3$

$$\left[\frac{1}{n}\right] = \frac{1}{R} = \frac{R_{cf}}{W} \quad \text{hay} \quad R_{cf} = \frac{W}{[n]}$$

Để đảm bảo cho tàu đậu trong buồng âu được an toàn khi cấp tháo nước thì yêu cầu $P \leq R_{cf}$

$$\text{Hay: } \frac{W}{g(f_a - f_t)} \left(\frac{dQ}{dt}\right)_{\max} \leq \frac{W}{[n]}$$

Thay giá trị $\left(\frac{dQ}{dt}\right)_{\max}$ từ công thức (5-60), (5-61) ta có:

$$t_m'' \geq \frac{[n] \mu \omega \sqrt{2H}}{\sqrt{g} \cdot (f_a - f_t)} \quad (5-62)$$

$$T \geq \sqrt{\frac{4 \cdot k_Q \cdot [n] \cdot \Omega \cdot H}{\sqrt{g} \cdot (f_a - f_t) \cdot (2 - k_m)}}$$

Công thức trên dùng để tính thời gian mở van kiểu lỗ ngập nước, tốc độ mở van là:

$$n = \frac{h_0}{t_m}$$

Trong đó:

$$h_0 = \frac{\omega}{\Sigma b_0} \quad \text{là chiều cao mở van}$$

ω : diện tích tiết diện ngang cống dẫn nước

Σb_0 : tổng bề rộng cống dẫn nước

Do đó, tốc độ mở van sẽ là:

$$n = \frac{\sqrt{g} \cdot (f_a - f_t)}{[n] \cdot \mu \cdot \Sigma b_0 \sqrt{2H}} \quad (5-63)$$

Trong công thức (5-62), k_Q là hệ số thay đổi độ tăng lưu lượng theo thời gian của dòng chảy vào buồng âu, phụ thuộc vào loại cửa van và hệ số lưu lượng μ , được lấy theo bảng:

Bảng 5.3: Hệ số thay đổi độ tăng lưu lượng k_Q

Loại van	Trị số k_Q với μ tương ứng			
	$\mu = 0,50$	$\mu = 0,60$	$\mu = 0,70$	$\mu = 0,80$
Phẳng	1,42	1,20	1,03	0,90
Van cung	1,65	1,43	1,24	1,10
Quay	1,04	0,87	0,75	0,66
Trụ	1,98	1,68	1,42	0,66

5.11.2. Theo điều kiện đậu tàu trong kênh:

Điều kiện tính toán của tàu đậu trong kênh khác với trong buồng âu là:

- Ở sau tàu (đậu ở kênh dưới) không có gì che chắn.
- Diện tích mặt cắt ướt của kênh lớn và cố định.

Khi tính toán sơ bộ có thể sử dụng công thức gần đúng sau:

$$P = \frac{\beta \cdot W}{g(f_k - f_t)} \left(\frac{dQ}{dt} \right)_{\max} \quad (5-64)$$

Ở đây $\beta = 1 \div 2$ là hệ số dự trữ

Thay giá trị $\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{\max}$ vào (5-64) ta có:

5.11.2.1. Thời gian tối thiểu mở cửa van dẫn nước:

$$t_m \geq \frac{k_v \cdot \beta \cdot [n] \cdot \mu \cdot \omega \sqrt{2H}}{\sqrt{g} \cdot (f_k - f_t)} \quad (5-65)$$

5.11.2.2. Tốc độ nâng cửa van tối đa: $(n = \frac{h_0}{t_m})$

$$n = \frac{\sqrt{g} \cdot (f_k - f_t)}{k_v \cdot \beta \cdot [n] \cdot \mu \cdot \Sigma b_0 \sqrt{2H}} \quad (5-66)$$

5.11.2.3. Thời gian tối thiểu làm đầy và làm cạn buồng âu.

$$T = \sqrt{\frac{k_v \cdot \beta \cdot [n] \cdot k_Q \cdot \Omega \cdot H}{\sqrt{g} \cdot (f_k - f_t) (2 - k_m) k_m}} \quad (5-67)$$

Trong đó:

k_v : hệ số kể đến ảnh hưởng của vận tốc dọc trong kênh.

$k_V = 1,1$ (với kênh thượng lưu)

$k_V = 1,3$ (với kênh hạ lưu)

5.12. Tính kích thước thiết bị tiêu năng

Thiết bị tiêu năng của âu tàu với hệ thống cấp tháo nước tập trung chia ra làm 2 phần chính (hình 5.30):

+ Buồng tiêu năng: khoảng không gian giữa cửa cống dẫn nước và vật tiêu năng.

+ Đoạn nước tràn tĩnh ở sau vật tiêu năng (đoạn này không tính vào chiều dài có lợi của buồng âu).

Sự làm việc của buồng tiêu năng được đặc trưng bởi sự tiêu hao năng lượng trong buồng âu của dòng chảy. Với những loại tiêu năng hiện đại, năng lượng tiêu hao ở buồng tiêu năng là 4 ÷ 10%, còn ở đoạn nước tràn tĩnh là 3 ÷ 5% toàn bộ năng lượng của dòng chảy vào buồng âu.

5.1.2.1 Thể tích buồng tiêu năng:

Van mở đều, chảy ngập trong cả thời kỳ làm đầy buồng âu:

$$V = \frac{9,3.A.\Omega.H^2}{T\sqrt{k_m(2-k_m)}} \quad (5-68)$$

Van mở đều, lúc đầu chảy không ngập:

$$V = \frac{11,3.A.\sqrt{\mu.\omega.\Omega.\sqrt{H_m}.H^3}}{\sqrt{k_m.T}} \quad (5-69)$$

+ H_m - chiều cao từ mép trên cống dẫn đến cao trình mực nước thượng lưu.

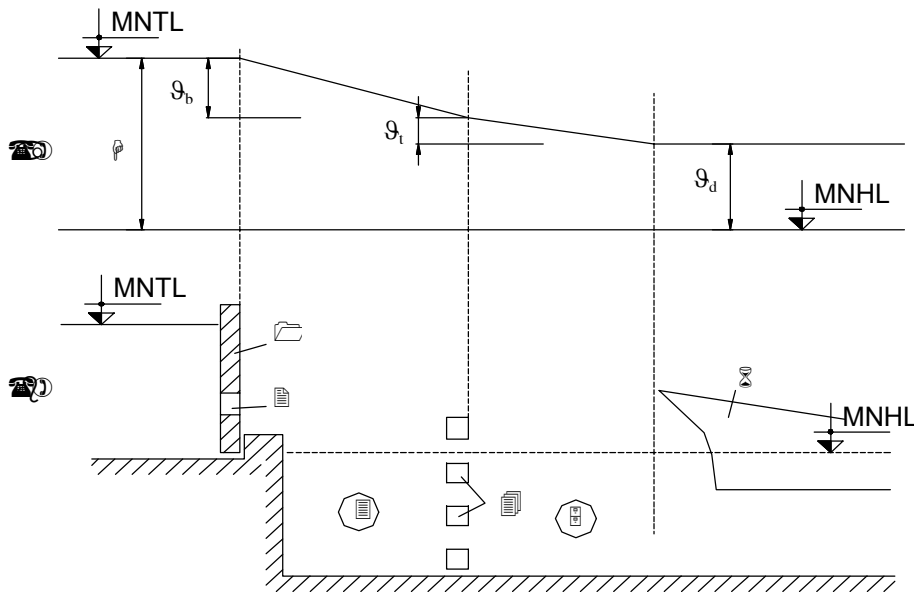
Trường hợp tổng quát:

$$V = A.e_{\max} \quad (5-70)$$

Trong đó:

A- hệ số phụ thuộc vào sự hoàn thiện của thiết bị tiêu năng. Với những thiết bị tiêu năng hiện đại $A = 0,20 \div 0,25$

e_{\max} - năng lượng cực đại của dòng nước chảy vào buồng âu, xác định theo đường đặc tính thủy lực của hệ thống cấp tháo nước.



Hình 5.30: Sơ đồ thiết bị tiêu năng của đầu âu trên và đồ thị biểu diễn sự thay đổi năng lượng dòng nước dọc theo buồng âu.

- | | |
|---------------------|---------------------------|
| 1- Cửa âu trên. | 4-Thanh tiêu năng. |
| 2- Lỗ cấp nước. | 5-Đoạn nước trấn tĩnh. |
| 3- Buồng tiêu năng. | 6-Tàu đậu trong buồng âu. |

ϑ_b - Năng lượng tiêu hao ở buồng tiêu năng.

ϑ_t - Năng lượng tiêu hao ở đoạn nước trấn tĩnh.

ϑ_d - Năng lượng dư của dòng chảy ở cuối đoạn nước trấn tĩnh.

5.12.2. Chiều dài đoạn nước trấn tĩnh:

Trường hợp mở van đều, chảy ngập trong suốt thời kỳ làm đầy buồng âu:

$$L_{tt} = \frac{9,3 \cdot \beta \cdot L_b \cdot H^2}{T \cdot \sqrt{km(2 - km)} \cdot \sqrt{S_b + 0,265H}} \quad (5-71)$$

Trường hợp mở van đều, lúc đầu chảy không ngập:

$$L_{tt} = 11,3\beta \sqrt{\frac{\mu \cdot \omega \cdot L_b \cdot \sqrt{Hm}}{kmT \cdot S_b} \cdot \frac{H^{3/2}}{(S_b + 0,333H)}} \quad (5-72)$$

Tổng quát: $L_{tt} = \beta \cdot e_{\max}$

Trong đó:

β - hệ số phụ thuộc vào chất lượng làm việc của thiết bị tiêu năng, với những vật tiêu năng tốt $\beta = 0,20 \div 0,25$.

e_{\max} - trị số năng lượng riêng lớn nhất của dòng nước chảy vào buồng âu, được xác định bởi đường đặc trưng thủy lực.

S_b - độ sâu có lợi của buồng âu.

T - thời gian cấp tháo nước.