

# CÔNG TRÌNH NỐI TIẾP

Công trình nối tiếp là những công trình đặc biệt, được xây dựng ở những nơi địa hình có độ dốc lớn để đưa nước từ cao xuống thấp.

Vì vậy công trình nối tiếp được dùng để thay thế những đoạn kênh dẫn không thể xây dựng được với mục đích nối kênh dẫn ở cao trình cao với kênh dẫn ở cao trình thấp.

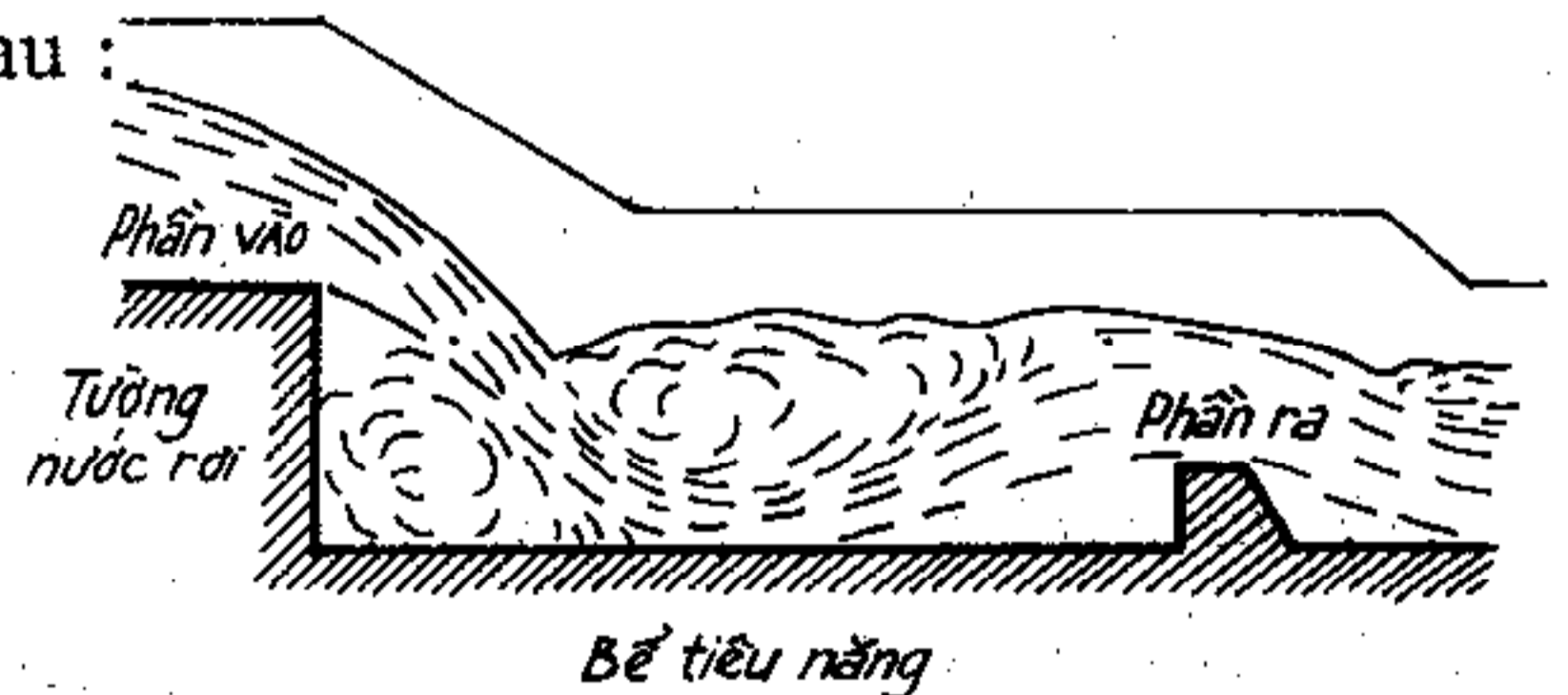
Các công trình này thường là bậc nước một cấp, bậc nước nhiều cấp và dốc nước.

Cũng có công trình nối tiếp làm nhiệm vụ đưa nước từ kênh dẫn có cao trình cao xuống nơi chứa nước dưới thấp như hồ, khe, sông, bằng cách phun ra ngoài không khí và được gọi là máng phun.

## §XIV-1. TÍNH TOÁN THỦY LỰC BẬC NƯỚC MỘT CẤP

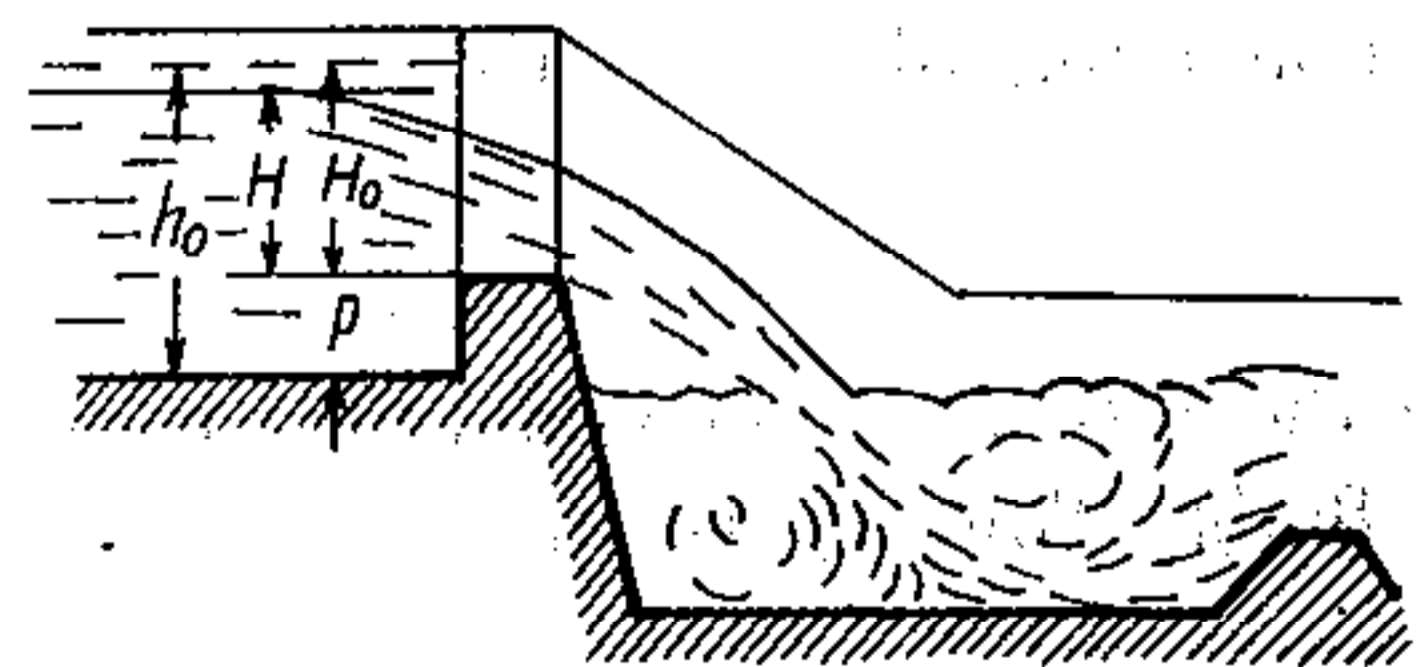
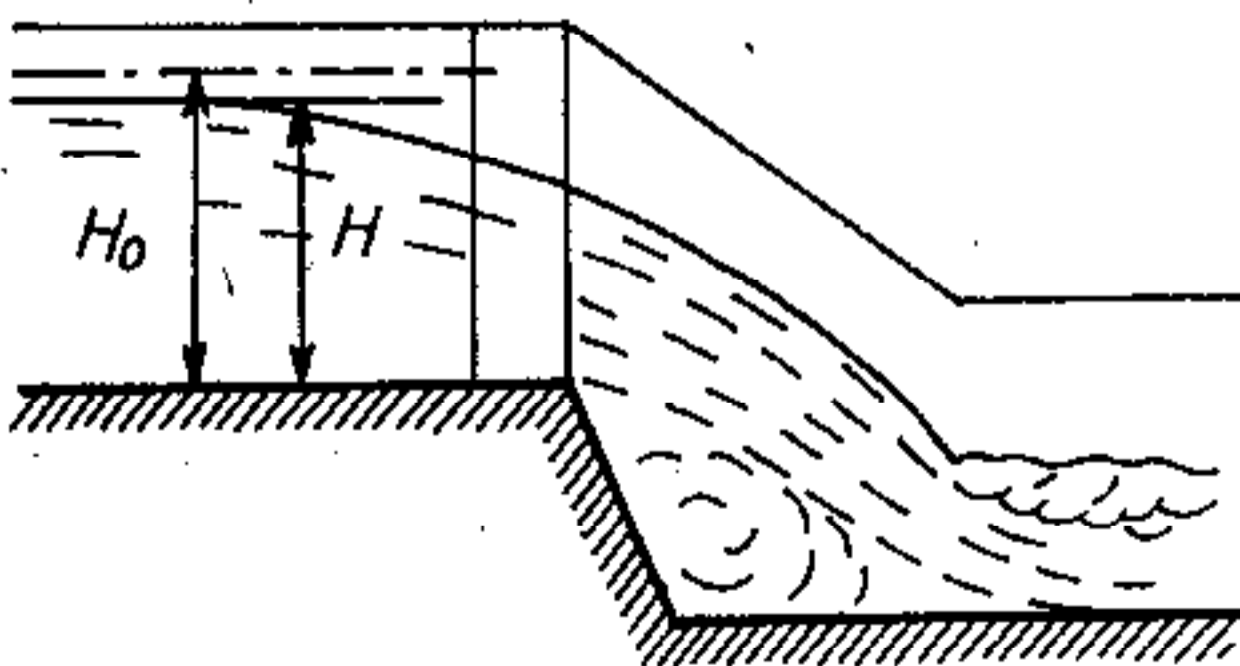
Bậc nước một cấp gồm các bộ phận sau :

- + Cửa vào
- + Sân bậc
- + Phần ra



### 1. Tính toán cửa vào

Trong thực tế cửa vào của bậc nước thường là đập tràn đỉnh rộng hay đập tràn thực dụng

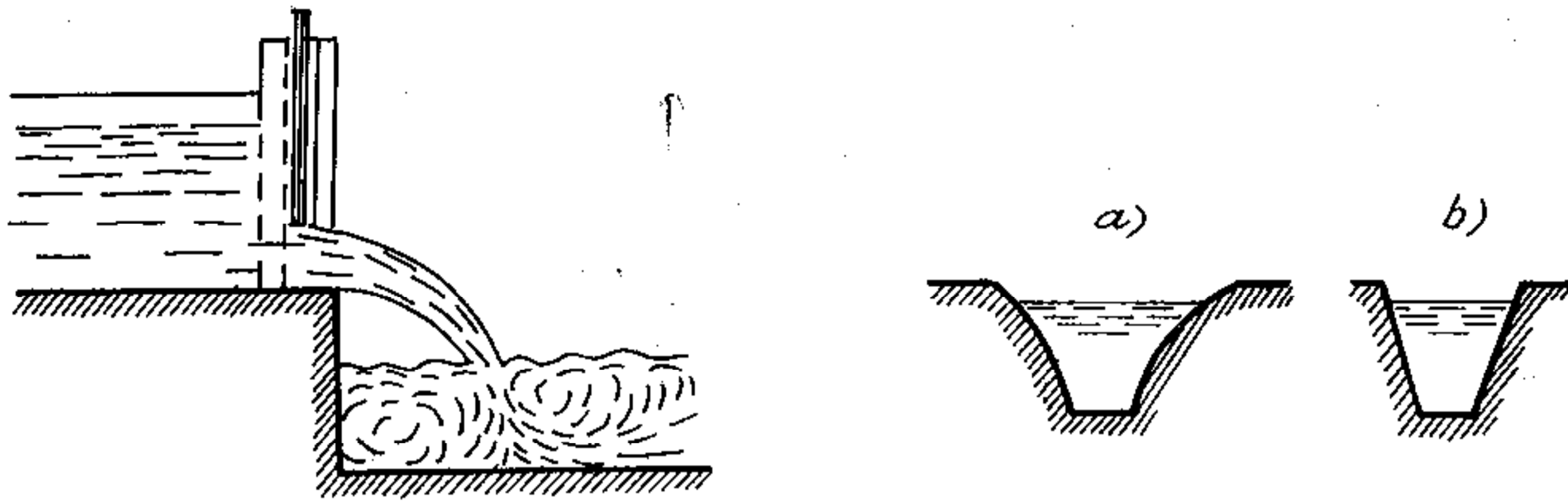


Lúc lưu lượng chảy qua bậc nước không thay đổi nhiều lắm, người ta thường làm đập tràn hình chữ nhật có cao trình đỉnh đập bằng hoặc cao hơn cao trình đáy kênh.

Nhược điểm của cửa vào hình chữ nhật là không thể điều tiết mực nước trong kênh thượng lưu được. Trường hợp này phải điều tiết bằng cửa van đặt ở cửa vào.

Muốn có đập tràn tự điều tiết, mặt tràn phải có hình cong hay hình thang.

Loại đập tràn hình thang đơn giản nhưng cũng làm được nhiệm vụ điều tiết nên được ứng dụng rộng rãi. Loại này được gọi là đập tràn khe hở.



Bài toán về cửa vào bậc nước là :

+ Xác định chiều rộng cần thiết của đập tràn để thoát qua lưu lượng cho trước và cũng để bảo đảm mực nước thượng lưu theo yêu cầu.

Nếu cửa vào bậc nước không có ngưỡng ( $P = 0$ ) thì thường có tường hai bên để thu hẹp mặt cắt so với kênh dẫn vào.

Nếu chiều dày  $\delta$  của tường bên, hoặc chiều dày của ngưỡng là  $\delta \geq (2 \div 3)H$  thì cửa vào tường làm việc như đập tràn đỉnh rộng.

Nếu  $\delta < (2 \div 3)H$  thì cửa vào làm việc như đập tràn thực dụng

Công thức tính lưu lượng qua cửa vào là công thức tính đập tràn :

$$Q = \sigma \cdot \varepsilon \cdot m \cdot b_{tb} \sqrt{2g} H_o^{3/2} \quad (1)$$

Trong đó :

$m$  - hệ số lưu lượng của đập tràn ;

$\varepsilon$  - hệ số co hẹp ;

$\sigma$  - hệ số ngập của đập tràn ;

$b_{tb}$  - chiều rộng trung bình của cửa vào bậc nước ;

$H_o$  - cột nước trên đỉnh đập tràn có tính đến ảnh hưởng của vận tốc đến gần.

Khi  $Q = \text{const}$  và dòng chảy trong kênh là chảy đều thì chiều rộng cửa vào  $b_{tb}$  phải chọn sao cho chiều sâu trước đập tràn là  $h = h_o$ .

Mục đích của việc chọn trên là để bảo đảm cho dòng chảy qua cửa là bình thường, không tạo nên nước dâng hay nước hạ ở kênh dẫn thượng lưu.

Như vậy cột nước trước cửa khi không có ngưỡng là :

$$H = h = h_o \quad (2)$$

và khi có ngưỡng với chiều cao  $P$  thì :

$$H + P = h = h_o \quad (3)$$

Trong thực tế lưu lượng trong kênh thường thay đổi luôn cho nên việc xây dựng bậc nước sẽ tạo nên chế độ chảy không đều.

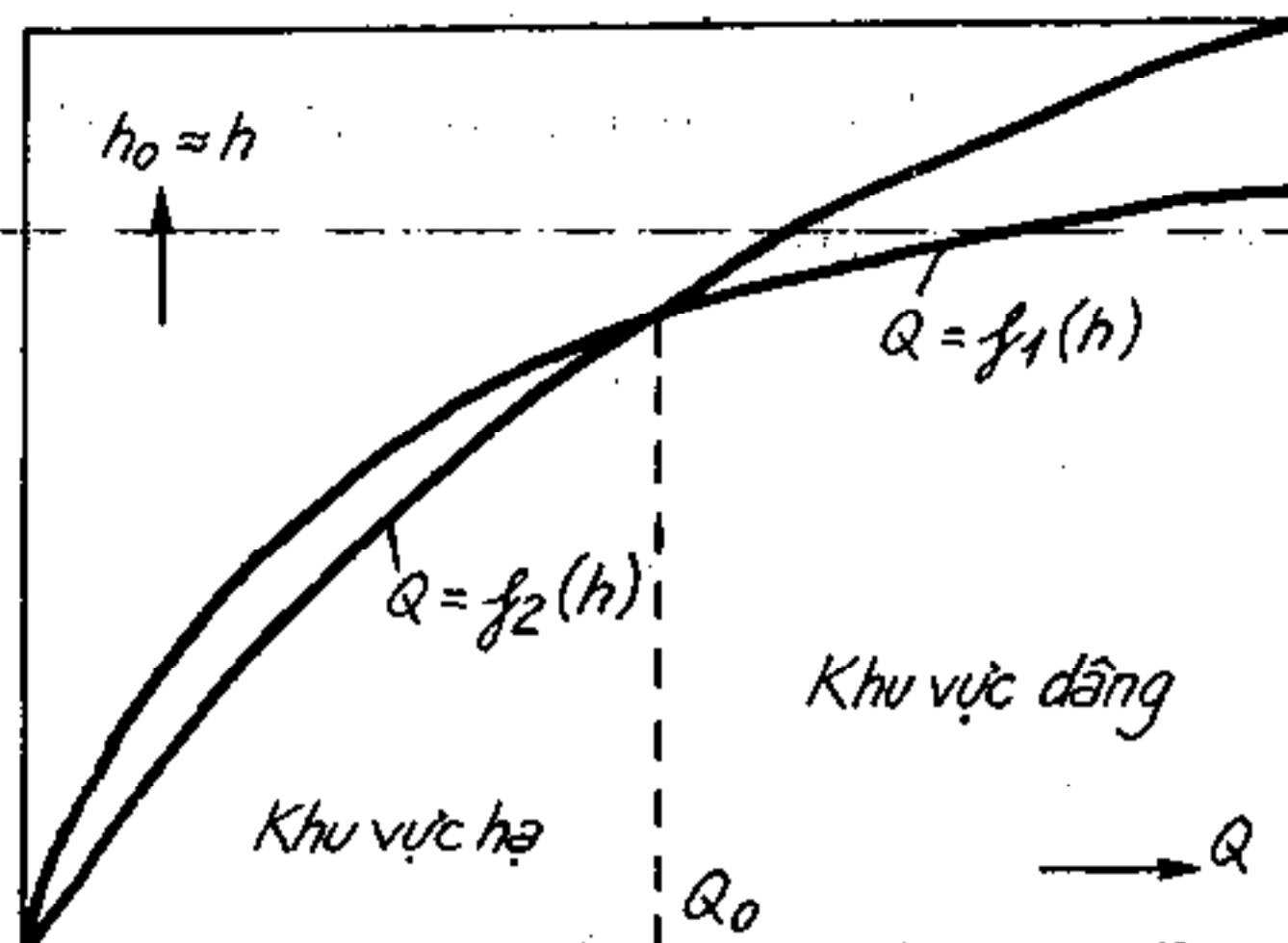
Vì vậy muốn có điều kiện :

$$h = h_o$$

để có dòng chảy trước đập là dòng chảy đều thì phải có  $Q_0$  vừa ứng với dòng đều và không đều.

Muốn thế trong dòng chảy đều trong kênh ta vẽ đường quan hệ  $Q = f_1(h_0)$  và đối với dòng chảy qua đập tràn ta vẽ đường quan hệ  $Q = f_2(h)$ .

Hai đường này cắt nhau tại 1 điểm ứng với lưu lượng  $Q_0$ .

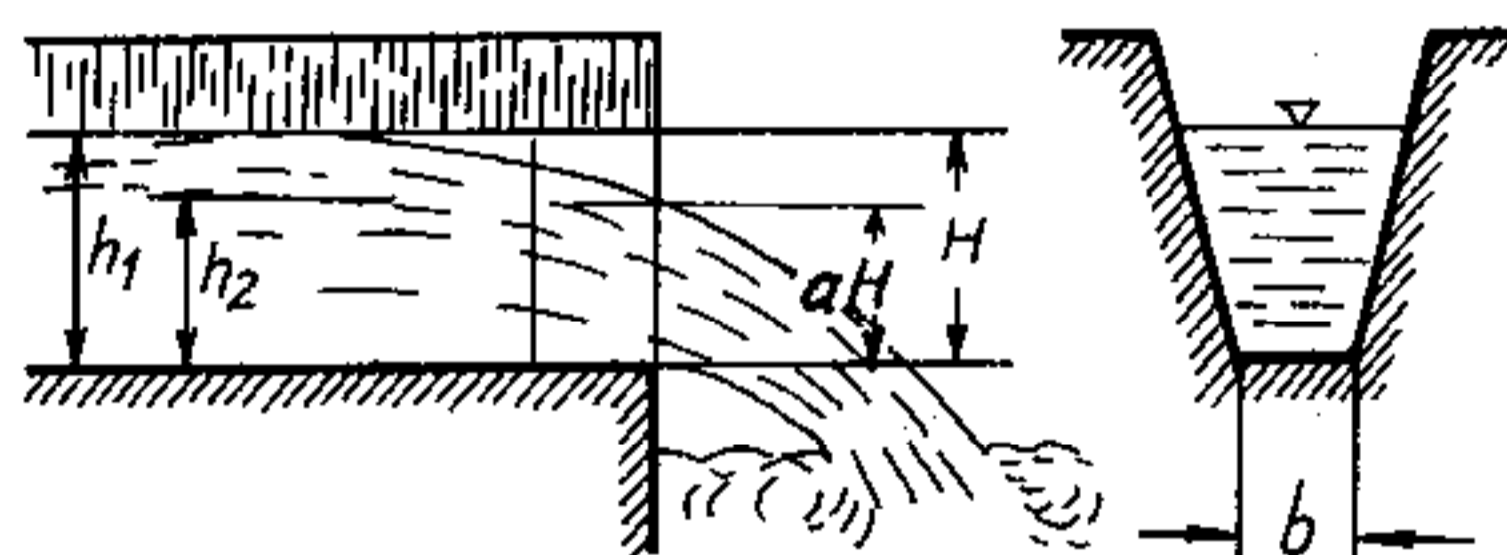


Nếu  $Q < Q_0$  thì  $h < h_0$  và dòng chảy trong kênh trở thành dòng không đều, trước đập - đường nước hạ. Vận tốc gần cửa vào sẽ tăng lên có thể gây xói lở trước công trình.

Ngược lại  $Q > Q_0$  thì  $h > h_0$  - vẫn là dòng không đều - đường nước dâng. Vận tốc trước cửa vào giảm đi có thể gây bồi lắng trước công trình.

Để tránh hiện tượng xói lở và bồi lắng cần tạo ra chế độ chảy đều trong kênh dẫn với bất kì lưu lượng nào dưới một hình thức cửa vào thích hợp. Cũng có thể dùng cửa van để điều tiết mực nước bằng cửa van trước bậc để có độ sâu trước đập gần bằng độ sâu chảy đều trong kênh.

Tốt nhất là dùng đập tràn hình thang. Muốn thế 2 đường  $Q = f_2(h)$  và  $Q = f_1(h_0)$  phải gần nhau.



Ta phải xác định chiều rộng  $b'$  và hệ số mái dốc  $m'$  của đập tràn hình thang.  $Q_1, Q_2$  thoát qua bậc nước là 2 lưu lượng tính toán, tương ứng với  $h_1, h_2$ .

Nếu đập tràn không có ngưỡng thì phải có điều kiện :

$$h_1 = H_1 \text{ và } h_2 = H_2$$

Cột nước trên đỉnh đập hình thang là  $aH$  ( $a$  là hệ số tỉ lệ), như vậy chiều rộng trung bình của mặt cắt ướt dòng chảy qua đập tràn là :

$$b_{tb} = b' + m'.a.H \quad (4)$$

Đây là chiều rộng làm việc của đập hình thang, do đó công thức tính toán đập hình thang chảy không ngập là :

$$Q = \varepsilon . m . b_{tb} \sqrt{2g} H_o^{3/2} \quad (5)$$

2 lưu lượng tính toán sẽ là :

$$Q_1 = \varepsilon . m . b_{tb} \sqrt{2g} H_{o1}^{3/2} \quad (6)$$

$$Q_2 = \sigma \varepsilon . m . b_{tb} \sqrt{2g} H_{o2}^{3/2} \quad (7)$$

Giải 2 phương trình (6) và (7) ta được :

$$b_{tb1} = \frac{A_1}{\varepsilon}$$

$$b_{tb2} = \frac{A_2}{\varepsilon} \quad (8)$$

trong đó :

$$A_1 = \frac{Q_1}{m \sqrt{2g} H_{o1}^{3/2}}$$

$$A_2 = \frac{Q_2}{m \sqrt{2g} H_{o2}^{3/2}} \quad (9)$$

Các đại lượng  $A_1, A_2$  là các đại lượng biết trước.

So sánh (4) với (8) ta có :

$$b_{tb1} = b' + m'.a.H_1 = \frac{A_1}{\varepsilon} \quad (10)$$

$$b_{tb2} = b' + m'.a.H_2 = \frac{A_2}{\varepsilon} \quad (11)$$

Giải hệ thống 2 phương trình (10) và (11) ta được :

$$m' = \frac{A_1 - A_2}{\varepsilon . a (H_1 - H_2)} \quad (12)$$

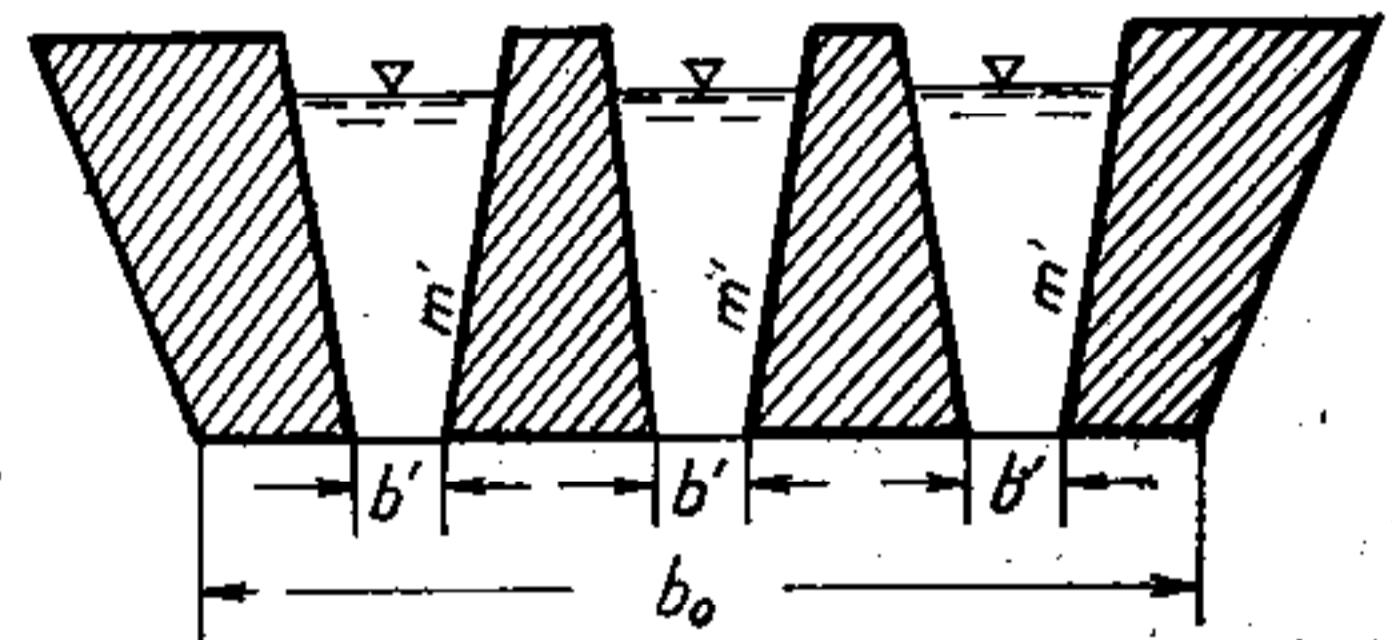
$$b' = \frac{H_1 . A_2 - H_2 . A_1}{\varepsilon (H_2 - H_1)} \quad (13)$$

$m'$  và  $b'$  theo (12) và (13) không phụ thuộc vào loại đập.

Nếu  $a = 0,8$  và  $\varepsilon = 1$  thì (12) và (13) có dạng :

$$m' = 1,25 \frac{A_1 - A_2}{H_1 - H_2} \quad (14)$$

$$b' = \frac{H_1 . A_2 - H_2 . A_1}{H_1 - H_2} \quad (15)$$



Nếu kênh dẫn rộng, thường được chia ra làm nhiều cửa, tránh chảy tập trung để gây ra xói. Số cửa sẽ là :

$$n = \frac{b_0}{(1,25 - 1,5)h_{\max}} \quad (16)$$

Trong đó :

$h_{\max}$  - độ sâu dòng chảy đều ứng với  $Q_{\max}$  ;

$b_0$  - chiều rộng đáy kênh thượng lưu.

Lưu lượng chảy qua mỗi cửa là :

$$Q_{c1} = \frac{Q_1}{n}$$

$$Q_{c2} = \frac{Q_2}{n}$$

Với  $m'$  là  $b'$  dòng chảy trong kênh dẫn là đều dưới  $Q_1$  và  $Q_2$ , còn dưới các lưu lượng khác dòng chảy sẽ gần với dòng đều.

Muốn thế các  $Q_1$  và  $Q_2$  (ứng với  $h_1$  và  $h_2$ ) phải được chọn như sau :  
 Nếu trong kênh dẫn có  $h_{\max}$  (với  $Q_{\max}$ ) và  $h_{\min}$  (với  $Q_{\min}$ ) thì các độ sâu tính toán  $h_1$  và  $h_2$  có thể lấy :

$$h_1 = h_{\max} - 0,25(h_{\max} - h_{\min}) \quad (17)$$

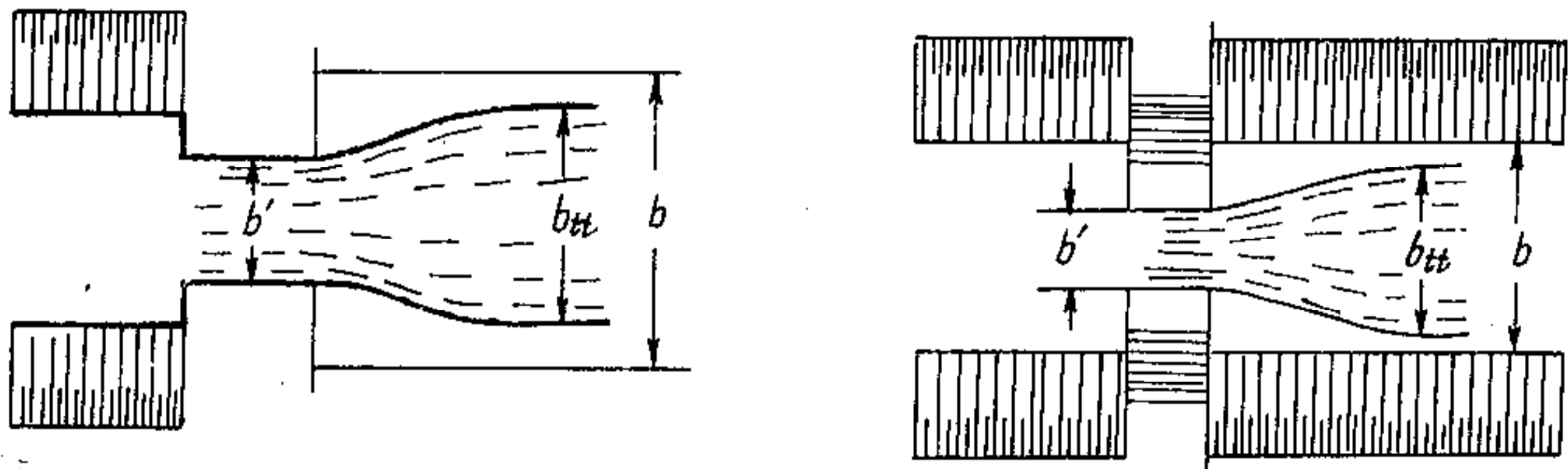
$$h_2 = h_{\min} + 0,25(h_{\max} - h_{\min}) \quad (18)$$

## 2. Tính toán sân bậc

Sân bậc của bậc nước phải bảo đảm sự nối tiếp ở hạ lưu bằng nước nhảy ngập.

Để có nước nhảy ngập sân bậc thường có bể hoặc tường tiêu năng. Cách tính các kích thước của tường và bể đã được nghiên cứu.

Vì chiều rộng sân bậc thường lớn hơn cửa vào nên dòng chảy ở hạ lưu thường được mở rộng. Đó cũng là đặc điểm của sân bậc cần nghiên cứu.



Khi chiều rộng cửa vào  $b'$  nhỏ hơn  $b$  thì có thể lấy chiều rộng tính toán  $b_{tt}$  bằng :

$$b_{tt} = b' + 0,1.l_1 \quad (19)$$

Trong đó  $l_1$  - chiều dài đoạn nước rơi tính theo các công thức đã có.

Khi cửa vào và sân bậc có mặt cắt hình thang mà  $b' < b$  thì có thể xem sân bậc như có dạng hình chữ nhật và xác định chiều rộng tính toán  $b_{tt}$  bằng hệ thức :

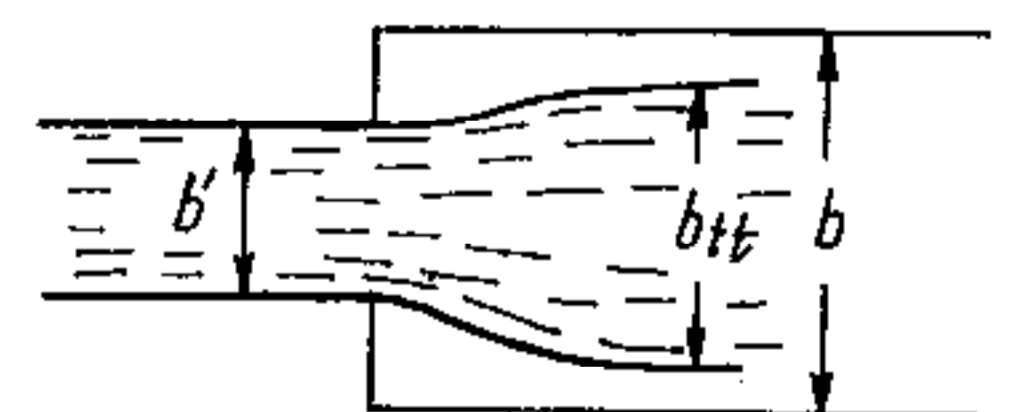
$$b_{tt} = b' + 0,8m'.H + 0,1.l_1 \quad (20)$$

Khi kênh thượng lưu và sân bậc đều có mặt cắt chữ nhật thì :

$$b_{tt} \leq 1,3b' \quad (21)$$

Trong đó  $b'$  - chiều rộng đáy kênh thượng lưu.

Nếu  $b_{tt} > b$  thì phải lấy  $b$  làm chiều rộng tính toán.



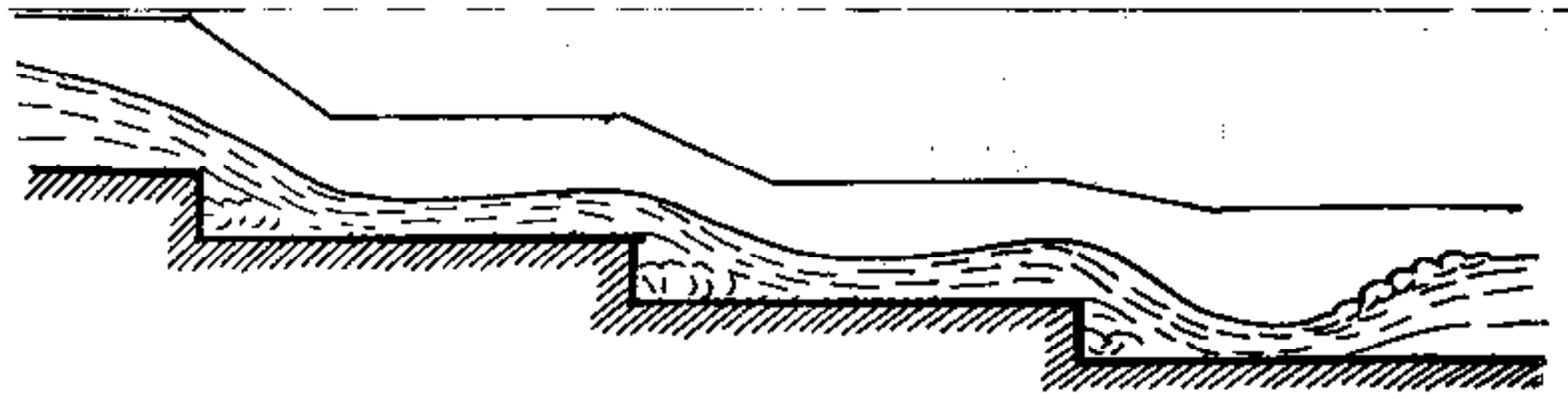
## 3. Tính toán cửa ra của bậc nước

Cửa ra của bậc nước làm việc tương tự như đập tràn đỉnh rộng hay đập tràn thực dụng. Cách tính toán đã được trình bày.

Nếu mặt cắt cửa ra là hình thang thì phải lấy chiều rộng trung bình xác định theo (4) làm chiều rộng tính toán.

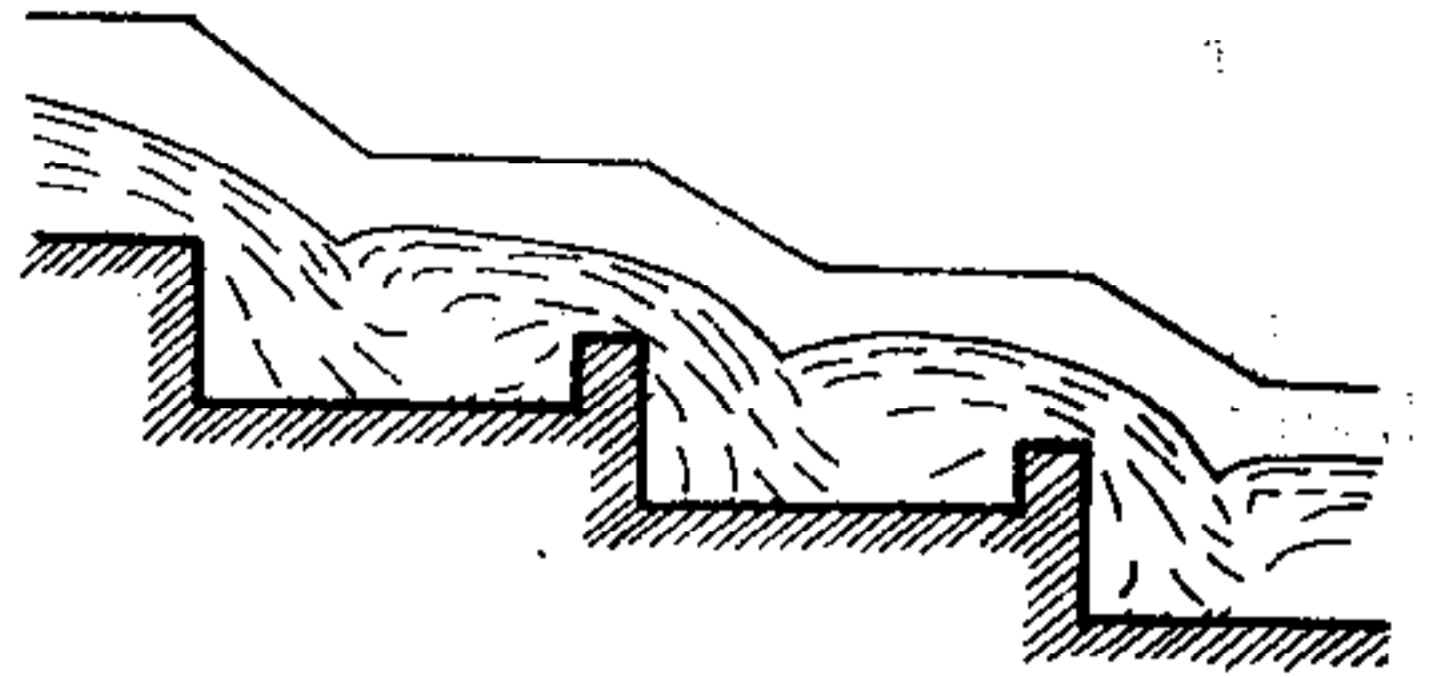
## §XIV-2. TÍNH TOÁN THỦY LỰC BẬC NƯỚC NHIỀU CẤP

Khi  $\sqrt{MNTL}$  và  $\sqrt{MNHL}$  chênh nhau quá lớn, để có được chiều cao nước vừa phải, phải xây dựng bậc nước nhiều cấp.



Bậc nhiều cấp gồm nhiều bậc nước nối tiếp nhau kiểu bậc thang.

Để giảm chiều dài sân bậc có thể xây dựng tường tiêu năng ở cuối mỗi bậc. Bậc nước nhiều cấp gồm nhiều bể tiêu năng nối tiếp nhau kiểu bậc thang.



Cũng có thể dùng độ nhám gia cường để giảm chiều dài của sân bậc.

Tính toán cửa vào, tiêu năng ở sân bậc cuối cùng và cửa ra của bậc nước nhiều cấp hoàn toàn giống như bậc nước một cấp.

Vấn đề cần nghiên cứu còn lại là cách tính toán chiều cao mỗi bậc và tính toán sân bậc.

### 1. Xác định chiều cao mỗi cấp

Chiều cao mỗi cấp có thể lấy bằng nhau :

$$P_1 = P_2 = P_3 = \dots = P_n = P \quad (22)$$

Do đó chiều cao của mỗi cấp tính bằng :

$$P = \frac{\sqrt{TL} - \sqrt{HL}}{n} \quad (23)$$

Trong đó :

$\sqrt{TL}$ ,  $\sqrt{HL}$  - cao trình đáy kênh thượng lưu và kênh hạ lưu ;  
 $n$  - số cấp.

Cũng có thể xác định chiều cao mỗi cấp từ điều kiện độ chênh mực nước giữa các cấp bằng nhau :

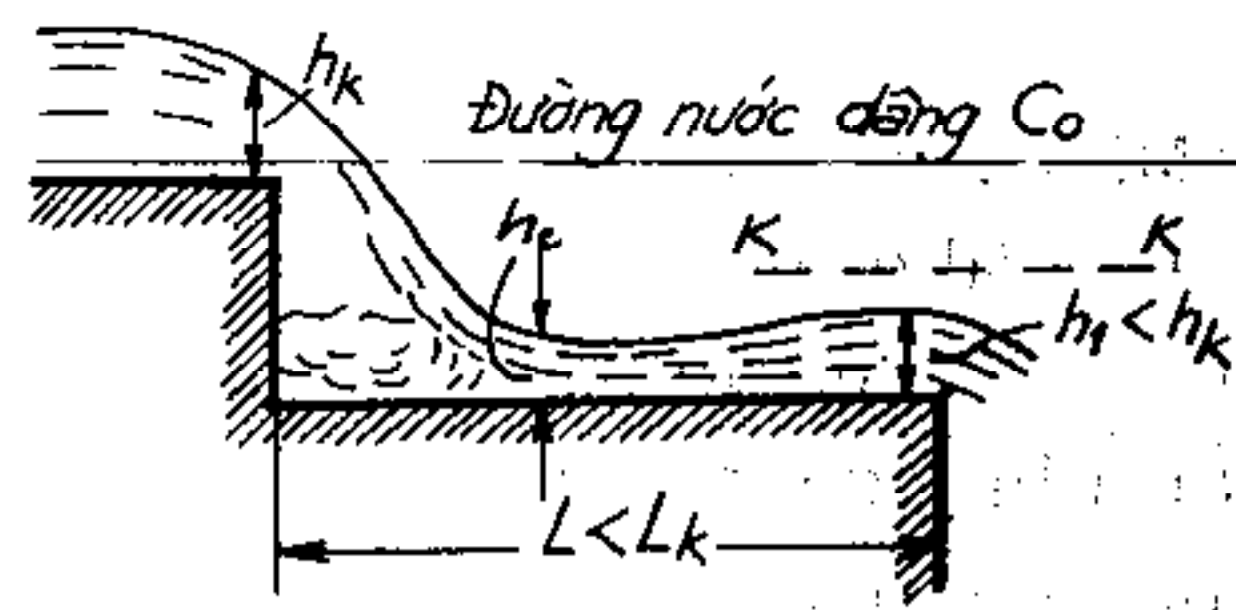
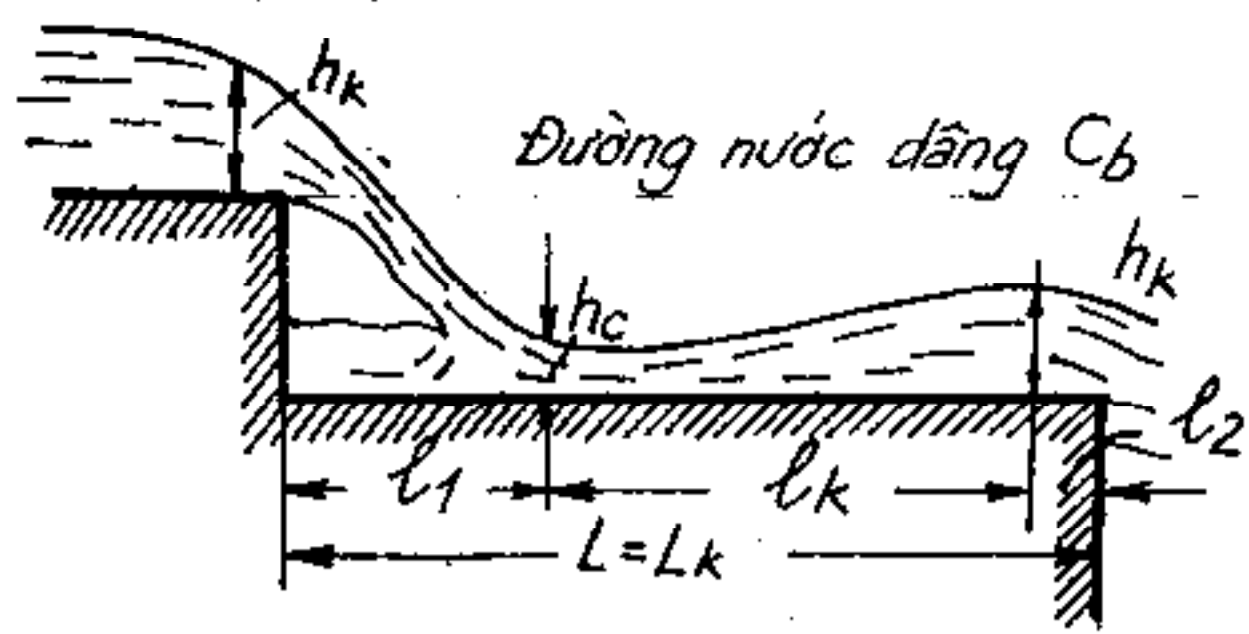
$$z = \frac{\sqrt{TL} - \sqrt{HL}}{n} \quad (24)$$

Trong đó :

$\sqrt{TL}$ ,  $\sqrt{HL}$  - cao trình mực nước trong kênh thượng và hạ lưu.

### 2. Tính toán sân bậc

Dòng chảy đổ xuống sân bậc mang theo động năng tương đối lớn, vì thế phải có biện pháp tiêu hao hết năng lượng thừa đó.



Ta xét 2 trường hợp :

+ Sân bậc không có tường tiêu năng.

- Chiều dài sân bậc  $L_k$  bằng

$$L_k = l_k + l_1 + l_2 \quad (25)$$

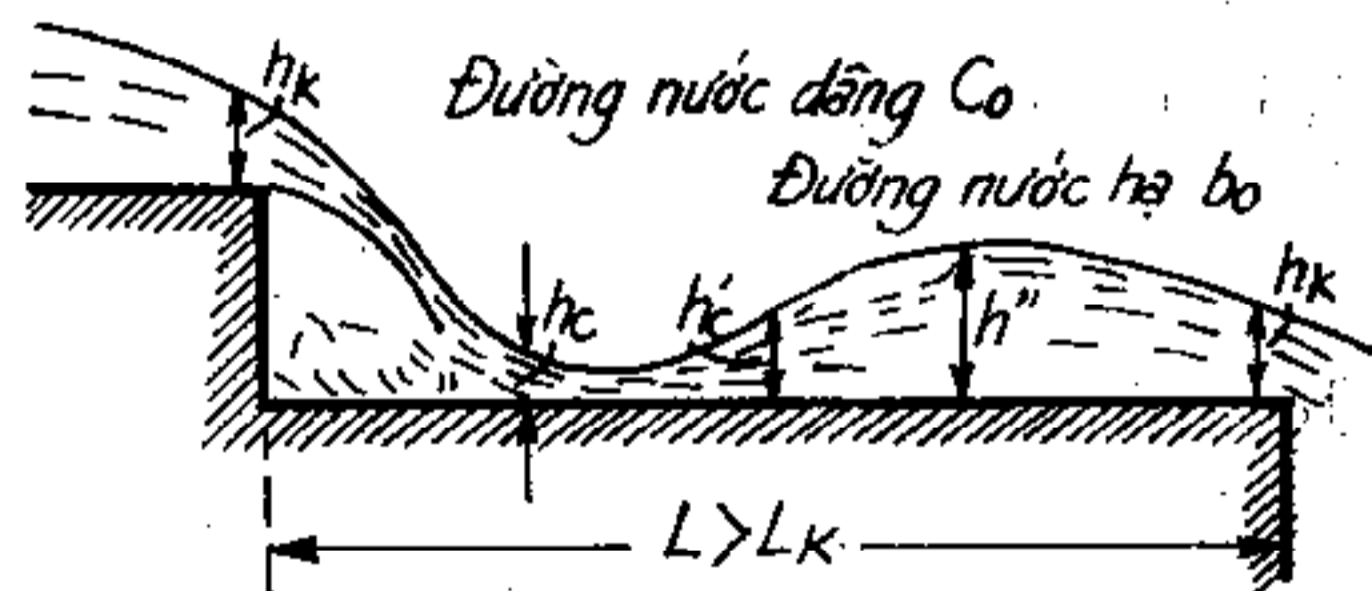
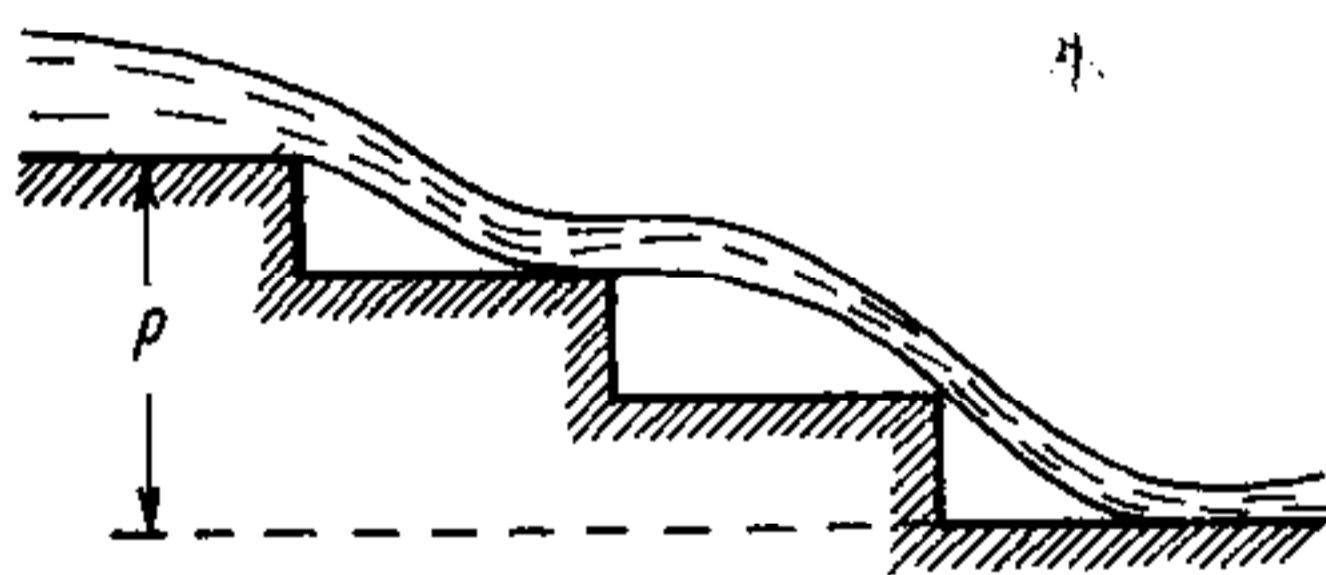
Trong đó :  $l_k$  - chiều dài đoạn đường nước dâng  $c_o$  được tính theo dòng không đều hoặc cũng có thể tính theo công thức gần đúng :

$$l_k = \frac{h_k}{i_k} \left[ \left( 1 - \frac{h_c}{h_k} \right) - \frac{1}{x + 1} \right] \quad (26)$$

với  $x$  là số mũ thủy lực.

Nếu  $L < L_k$ , thì  $h_1 < h_k$  trên sân bậc không tiêu hao hết năng lượng, phần còn lại phải chuyển xuống bậc dưới. Nếu  $L$  lại quá ngắn dẫn tới dòng chảy chỉ lướt qua các bậc hoặc vượt qua bậc để đổ xuống hạ lưu.

Nếu chiều dài vừa bằng  $L = L_k$  thì độ sâu ở cuối sân  $h_1 = h_k$ , năng lượng ở cuối dốc là bé nhất, năng lượng thừa sẽ tiêu hao hết.



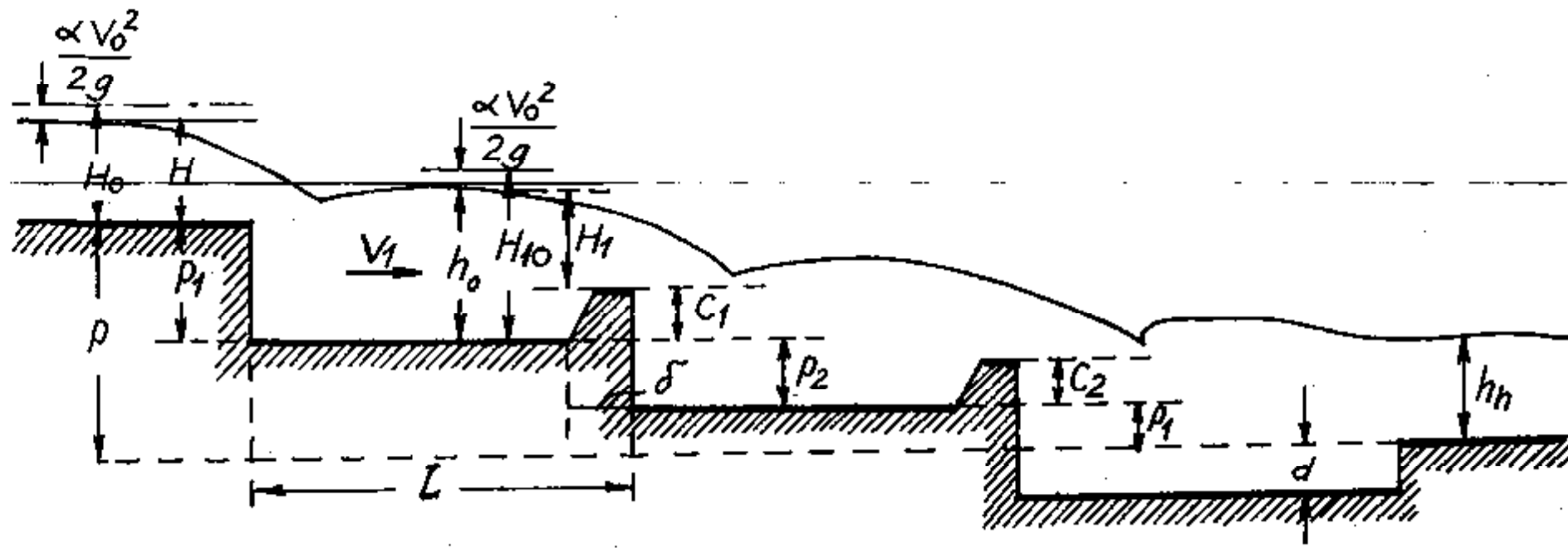
Nếu  $L$  quá lớn ( $L > L_k$ ) thì trên sân bậc còn có cả chảy êm, có đường nước hạ  $b_o$ , độ sâu cuối bậc là  $h_k$  - năng lượng là bé nhất, năng lượng đã bị tiêu hao hết.

Nhưng duy trì cả đường nước dâng  $c_o$ , nước nhảy, đường nước hạ  $b_o$  với chiều dài bậc lớn thì về mặt tiêu hao năng lượng là không có lợi gì hơn, mà về mặt kinh tế thì tốn kém. Vì thế chỉ nên lấy  $L = L_k$ .

Vậy chiều dài sân bậc nên tính theo (25), tuy nhiên chiều dài này không phải lúc nào cũng là hợp lí vì có thể gặp trường hợp kết quả tính ra là quá dài. Khi đó để rút ngắn chiều dài mà vẫn bảo đảm hiệu quả tiêu năng trong thực tế thường làm tường tiêu năng để tạo nên nước nhảy ngập.

+ Sân bậc có tường tiêu năng

Nhiệm vụ tính toán thủy lực là xác định chiều cao của tường và chiều dài của sân bậc.



Tính toán chiều cao tường được tiến hành như đã trình bày.

Chiều dài của sân bậc tính theo :

$$L = l_1 + l_{n.ng.} + \delta \quad (27)$$

Trong đó :

$l_{n.ng.}$  - chiều dài của nước nhảy ngập tính theo (X-19 ; X-22) ;

$\delta$  - chiều dày của tường tiêu năng ;

$l_1$  - chiều dài đoạn nước rơi.

### §XIV-3. TÍNH TOÁN THỦY LỰC ĐỐC NƯỚC

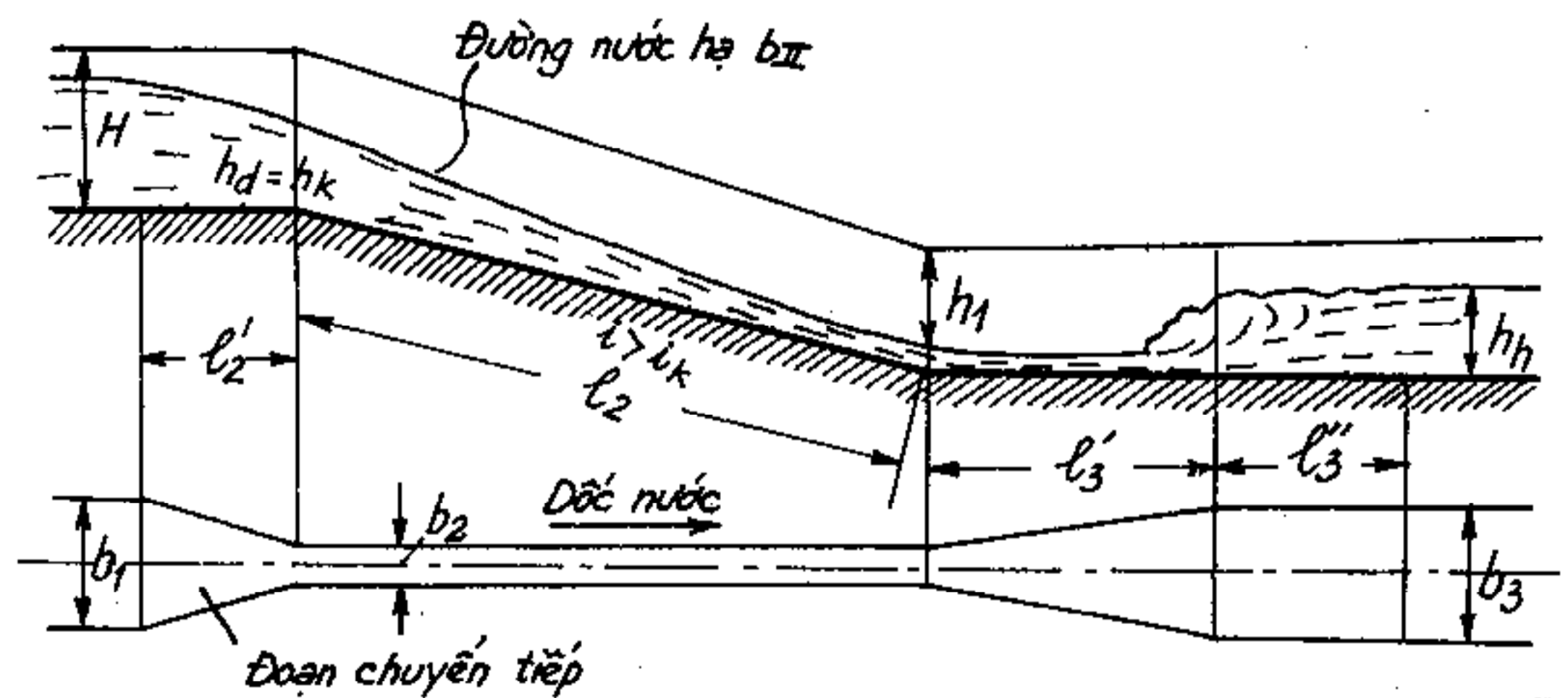
Trong thực tế đốc nước là một đoạn kênh ngắn có độ dốc đáy lớn ( $i > i_k$ ). Đốc nước có thể chia ra các bộ phận :

- + Cửa vào
- + Thân đốc
- + Phần tiêu năng

#### 1. Tính toán cửa vào

Cửa vào tương tự như cửa vào của bậc nước. Có thể là được tính như đập tràn đỉnh rộng, thực dụng hoặc đập tràn khe hở.

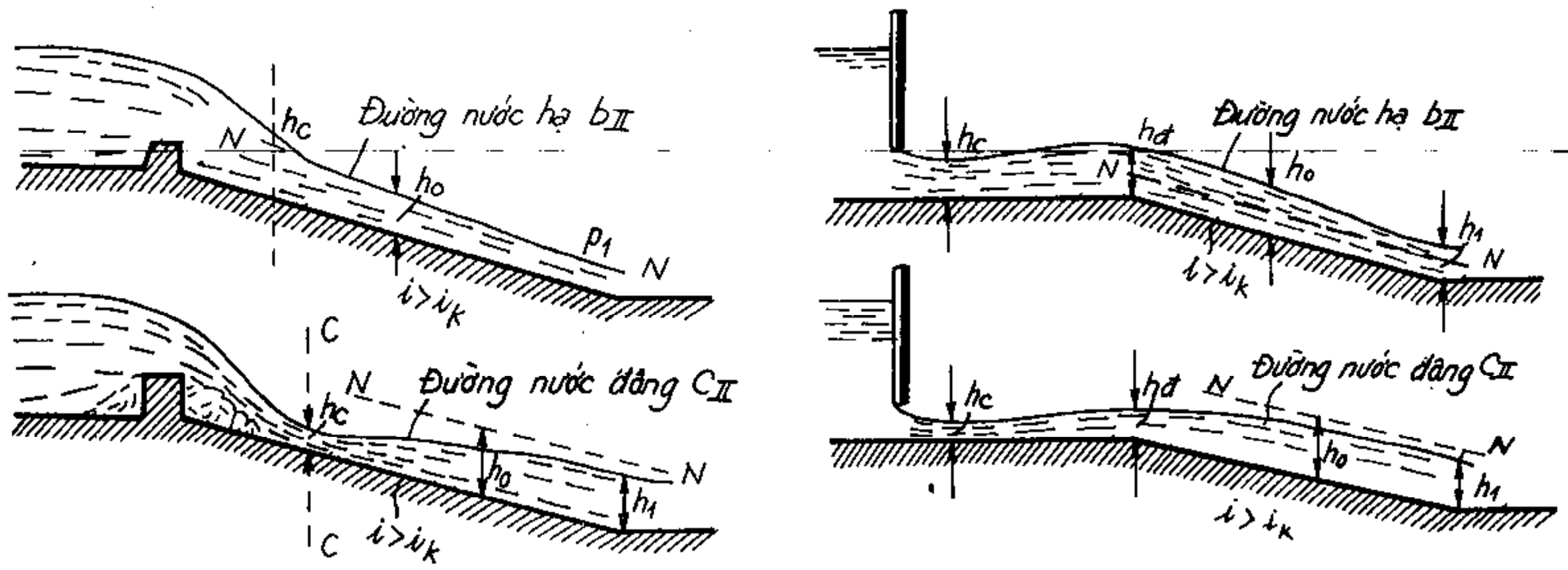
Điểm khác nhau chủ yếu là ở đốc nước thường có một đoạn chuyển tiếp thu hẹp nối với đầu đốc. Đoạn chuyển tiếp thường có  $i$  rất bé hoặc  $i = 0$ .



#### 2. Tính toán thân đốc

Mặt cắt thường có dạng hình thang hoặc chữ nhật. Độ dốc đáy tùy thuộc vào vật liệu tạo nên thân đốc  $i = 0,01 \div 0,02$ .





Để giảm vận tốc dòng chảy, tăng hiệu quả tiêu năng thường làm độ nhám gia cường.

Thân dốc có thể là lăng trụ hoặc không lăng trụ (với chiều rộng thay đổi).

#### a) Dốc nước hình lăng trụ

Dòng chảy luôn ở trạng thái chảy xiết, đường nước hạ  $b_{II}$  hoặc đường nước dâng  $c_{II}$ .

Dạng đường mặt nước hoàn toàn phụ thuộc vào hình thức cửa vào.

Có thể gặp :

+ Cửa vào không có ngưỡng :  $h_d = h_k$ , đường mặt nước - hạ  $b_{II}$ .

+ Cửa vào có ngưỡng :  $h_d = h_{c.h.}$ , xảy ra 2 hình thức :

\* Khi  $h_{c.h.} > h_o$  ( $h_o$  - độ sâu chảy đều) - hạ  $b_{II}$  ;

\* Khi  $h_{c.h.} < h_o$  - dạng  $c_{II}$ .

+ Cửa vào có van điều tiết : sau cửa van có  $i = 0$  - đoạn chuyển tiếp nên  $h_d \geq h_o$ .

\* Khi  $h_d > h_o$  - nước hạ  $b_{II}$  ;

\* Khi  $h_d < h_o$  - nước dâng  $c_{II}$ .

Nếu  $l$  của đoạn chuyển tiếp lớn thì trên đoạn đó có nước nhảy, sau nước nhảy là hạ  $b_o$  và  $h_d = h_k$ , trong thân dốc  $b_{II}$ .

Các đường mặt nước này được tính theo các phương pháp đã có.

Độ sâu cuối dốc  $h_c = h_o$ .

Trong tính toán cần kiểm tra vận tốc :

$$v_{\max} \leq [v_{\max}] \quad (28)$$

Dòng chảy trong thân dốc thuộc loại dòng có vận tốc cao. Đến một giới hạn nào đó thì dòng chảy bị trộn khí (hàm khí) dẫn đến độ sâu lớn hơn so với tính toán.

Ảnh hưởng đó được xét đến bằng 2 cách :

\* Khi  $v \leq 20$  m/s thì :

$$h_{tt} = h \cdot \left( 1 + \frac{v}{100} \right)$$

Trong đó :

$h$  - độ sâu tính toán ;

$h_{tt}$  - độ sâu tính toán có xét đến ảnh hưởng của dòng chảy có trộn khí ;

\* Tính đường mặt nước với độ nhám lớn hơn :

$$n' = \beta \cdot n$$

Trong đó :

$n$  - độ nhám thật của thân dốc ;

$\beta$  - hệ số xét đến ảnh hưởng của dòng chảy trộn khí, lấy theo bảng :

Độ dốc đáy $i$	0,1 - 0,20	0,2 - 0,4	> 0,4
Bán kính thủy lực $R$			
0,10m - 0,30m	1,33	1,33	2,00
< 0,10m	1,33	2,00	3,30

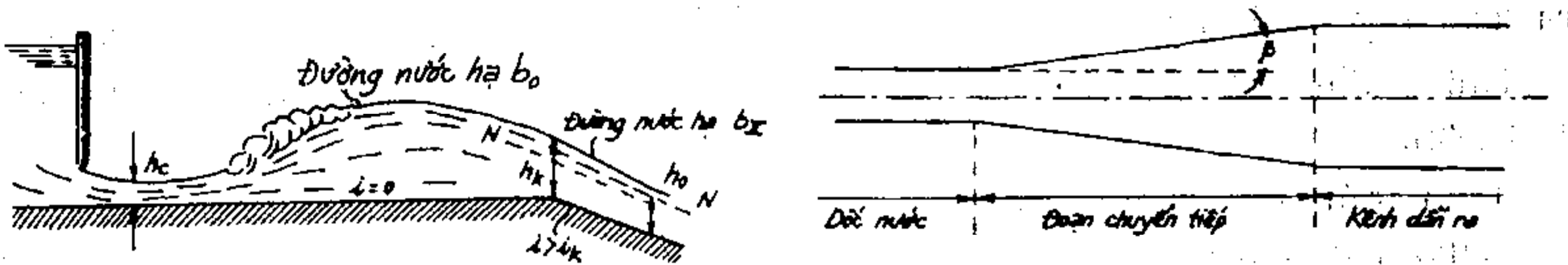
b) Dốc nước hình không lăng trụ ( $b$  thay đổi)

Độ sâu ở đáy không đổi, muốn thế phải thu hẹp dần chiều rộng đáy dốc. Đường mặt nước song song với đáy.

Cách tính là chọn chiều rộng đáy  $b$  như đã biết.

Cần chú ý rằng độ sâu của dòng chảy trong thân dốc có thể chọn tùy ý nhưng phải bé hơn  $h_k$  ở đầu thân dốc. Nếu  $h > h_k$  thì độ sâu ở thân dốc sẽ ảnh hưởng đến đường mặt nước trong kênh thượng lưu.

### 3. Tính toán phân tiêu năng



Phân tiêu năng phải tiêu hủy hết năng lượng thừa mà dòng chảy mang theo và bảo đảm cho hạ lưu không bị xói lở.

Kênh hạ lưu có  $i$  nhỏ hơn thân dốc nên chiều rộng phải lớn hơn đáy thân dốc. Vì thế từ thân dốc sang kênh hạ lưu phải có đoạn chuyển tiếp mở rộng dần.

Đoạn mở rộng này thường có độ dốc bé hoặc bằng 0.

Góc mở rộng của đoạn chuyển tiếp thường lấy trong giới hạn :

$$\text{tg}\beta = \frac{1}{8} \div \frac{1}{12}$$

Cần chú ý mấy điểm :

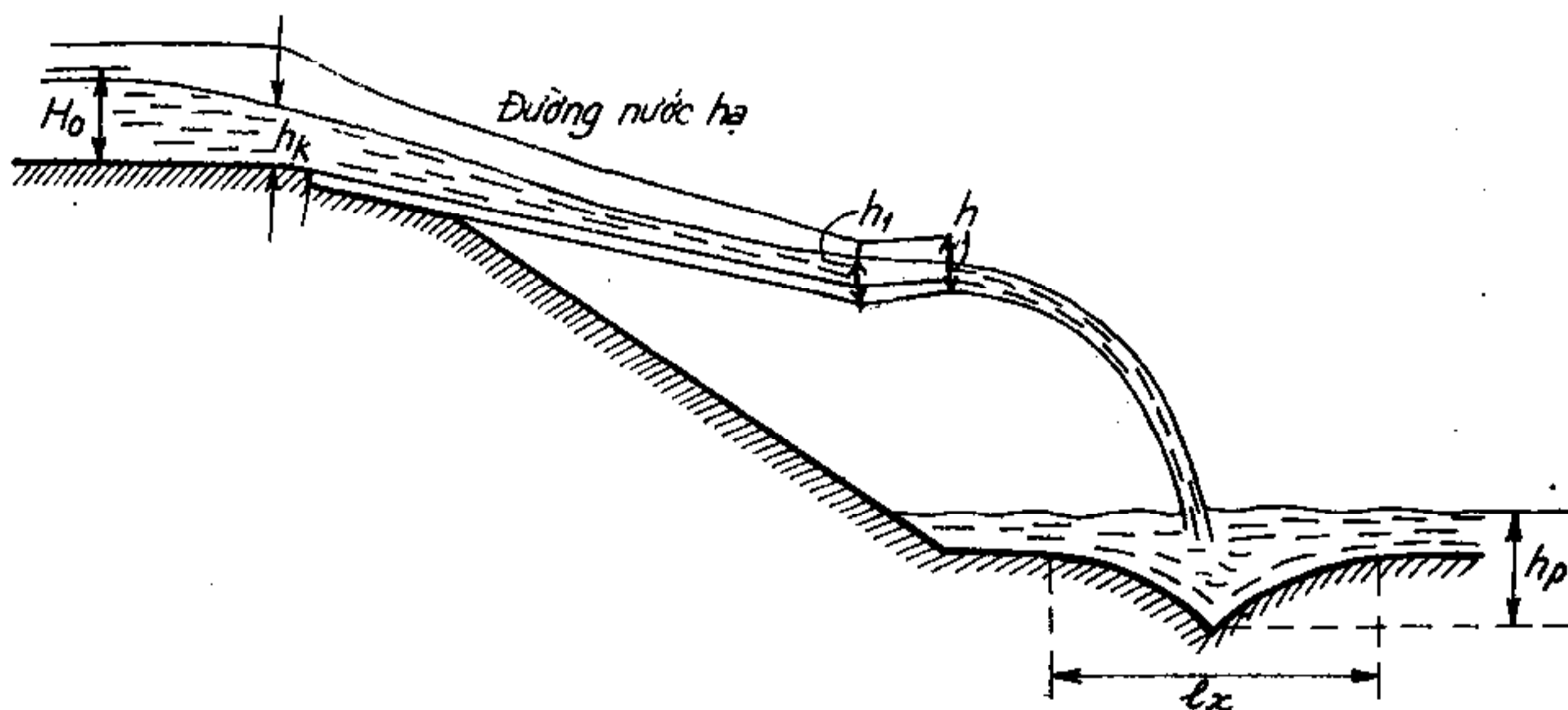
+ Góc mở rộng phải không gây nên sự tách dòng để có thể làm xói ở đáy và hai bên bờ ;

+ Dòng chảy từ thân dốc là dòng chảy xiết còn dòng hạ lưu là chảy êm nên sự nối tiếp ở hạ lưu có thể là nước nhảy xa, tại chỗ hay nhảy ngập. Nếu nước nhảy xa thì phải làm bể tiêu năng hoặc tường tiêu năng để tạo nên nước nhảy ngập.

+ Để tính nối tiếp độ sâu cuối dốc  $h_1$  (ở đầu đoạn mở rộng) làm độ sâu trước nước nhảy  $h'$  và xác định độ sâu liên hiệp với nó  $h''$ .

+ Góc mở rộng  $\beta$  không lớn lắm nên khi tính tiêu năng có thể xem là bài toán phẳng.

#### §XIV-4. TÍNH TOÁN THỦY LỰC MÁNG PHUN



Máng phun là một dốc nước kiểu công xon và cuối dốc là mũi phun.

Mũi phun có tác dụng hướng dòng chảy sau khi từ dốc đổ xuống phóng ra xa công trình. Mũi phun có thể nằm ngang hoặc hướng lên một góc  $\theta$ .

Chiều dài mũi phun phụ thuộc vào chiều dài của dốc nước, có thể từ 1 ÷ 2m.

Tính toán thủy lực máng phun là :

- + Tính dốc nước ;
- + Tính hạ lưu ;
- + Xác định tầm phóng xa của dòng chảy ;
- + Tính kích thước của phễu xói.

Cửa vào máng phun tính tương tự như cửa vào bậc hoặc dốc nước.

Tính toán dốc nước là xác định kích thước của thân dốc, độ dốc đáy và tính đường mặt nước trong thân dốc.

Theo sơ đồ ta có :

$$il = \sigma.S + l'.\sin\theta - H \quad (31)$$

Trong đó :

H - cột nước trên cửa vào ;

l - chiều dài của dốc ;

l' - chiều dài của mũi phun ;

$$\sigma = \frac{S_1}{S}$$

i - độ dốc đáy của dốc nước.

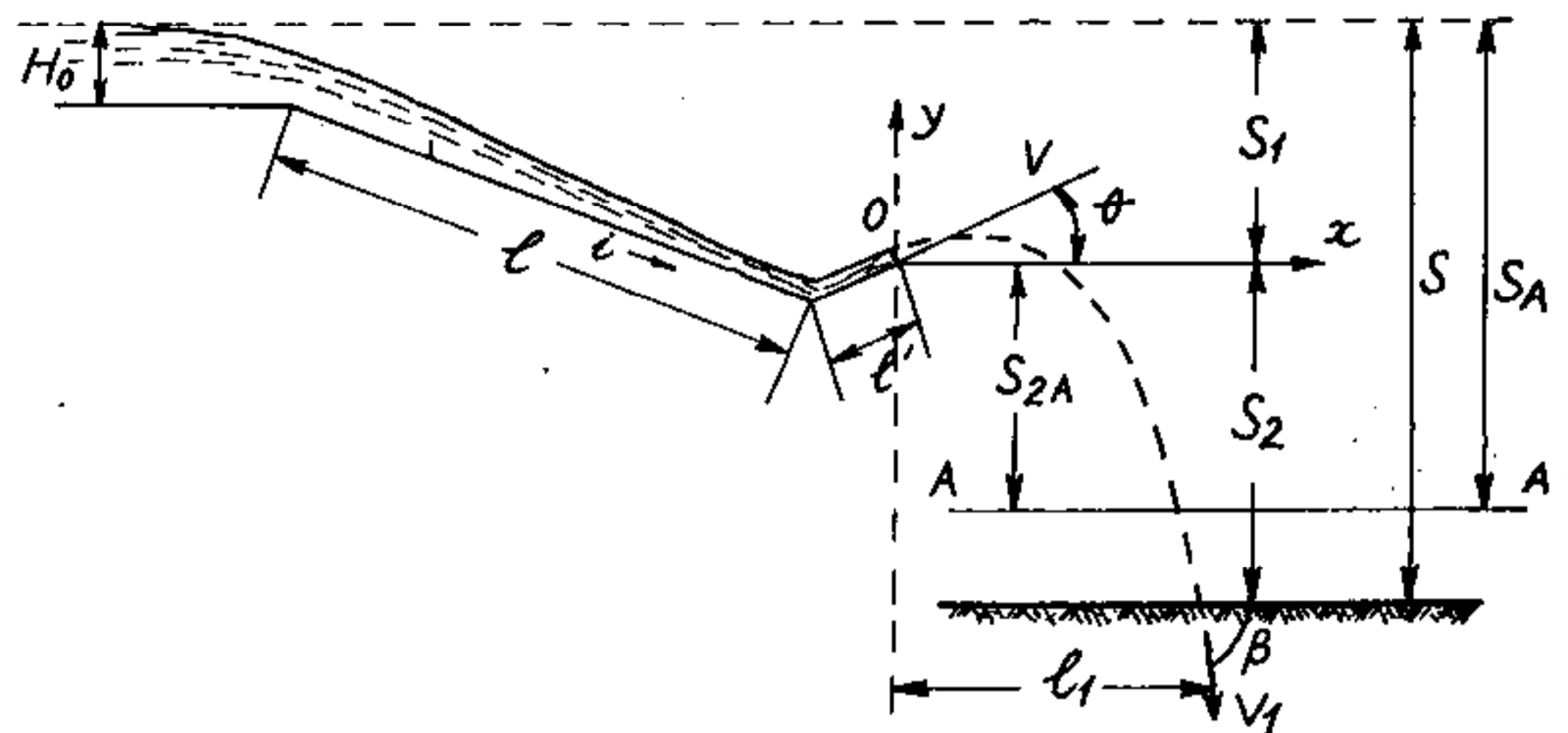
Khi  $\theta = 0$  thì phương trình có dạng đơn giản hơn :

$$il = \sigma.S - H \quad (32)$$

Trong tính toán thường biết trước các đại lượng H, l', S,  $\theta$  còn  $\sigma$  thì tự chọn.

Vậy từ (31) và (32) có thể xác định l và i.

Độ dốc i và chiều rộng b của thân dốc phải chọn thế nào để vận tốc lớn nhất ở trên dốc phù hợp với điều kiện (28)



$$v_{\max} \leq [v_{\max}]$$

Sau khi chọn kích thước và độ dốc đáy của dốc ta tính đường mặt nước và xác định độ sâu cuối dốc  $h_1$ . Vì mũi phun có chiều dài không lớn nên có thể xem độ sâu ở cuối dốc  $h_1$  như độ sâu ở cuối mũi  $h$  ( $h = h_1$ ).

Thực tế khi chọn  $\theta \geq 0$ , thì  $h > h_1$ , vì thế nếu lấy  $h = h_1$  sẽ dẫn đến vận tốc tính toán ở cuối mũi v có tăng lên một ít so với thực tế, tức là thêm an toàn cho tính toán.

\* Tính chiều dài phóng xa của dòng chảy, giả thiết rằng khi chuyển động tự do trong không khí, cấu tạo của dòng chảy vẫn giữ nguyên và không có tổn thất năng lượng.

Chiều dài phóng xa của dòng chảy sẽ là :

$$l_1 = 2\varphi^2 \cdot \sigma \cdot S \cos \theta \cdot \left[ \sin \theta + \sqrt{\sin^2 \theta + \frac{h \cdot \cos \theta + 2S(1 - \sigma)}{2\varphi^2 \cdot \sigma \cdot S}} \right] \quad (33)$$

Nếu mũi phun nằm ngang  $\theta = 0$  thì :

$$l_1 = \varphi \sqrt{2\sigma \cdot S [h + 2S(1 - \sigma)]} \quad (34)$$

Từ (33) và (34) ta thấy rằng chiều dài phóng xa của dòng chảy phụ thuộc vào góc  $\theta$  và trị số  $\sigma$ .

Trong thực tế người ta lấy góc  $\theta \leq 15^\circ$  và trị số  $\sigma$  lấy khoảng chừng 0,50.

Chiều dài phóng xa thực tế bé hơn nhiều so với chiều dài lí thuyết tính theo (33) và (34) vì rằng khi phun ra không khí dòng phun bị phân tán và ma sát nên tổn thất nhiều năng lượng.

\* Xác định kích thước phễu xói trong điều kiện bài toán phẳng

Một cách gần đúng có thể xem chiều sâu phễu xói lớn nhất gần bằng chiều sâu bể tiêu năng.

Từ đó  $d_x$  có thể tính bằng :

$$d_x = \sigma h''_c - h_n \quad (35)$$

Trong đó :

$\sigma$  - hệ số dự trữ

$h''_c$  - độ sâu liên hiệp với  $h_c$  tại mặt cắt co hẹp ở đáy phễu xói.

Tính  $h_c$  bằng phương trình :

$$q = \varphi \cdot h_c \sqrt{2g(E_o - h_c)}$$

Trong đó  $E_o$  là năng lượng đơn vị của dòng chảy tại cuối mũi phun tính với mặt chuẩn O-O :

$$E_o = S_2 + d_x + h \cdot \cos\theta + \frac{\alpha v^2}{2g} \quad (36)$$

còn  $\varphi$  thường lấy bằng 1.

Chiều sâu toàn phần của phễu xói là :

$$h_p = d_x + h_n \quad (37)$$

Kết quả thí nghiệm cho biết phễu xói thường có dạng tam giác ngược mà đỉnh nằm ở chỗ dòng đổ xuống hạ lưu. Mái dốc của phễu  $m = 1$ .

Phạm vi phễu xói cho phép ta định ra kết cấu đỡ máng phun. Tuy nhiên cách tính này chỉ là gần đúng vì chưa kể đến ảnh hưởng do cấu tạo địa chất ở hạ lưu.

Vì thế khi tính chiều sâu phễu xói cần đưa vào hệ số dự trữ :

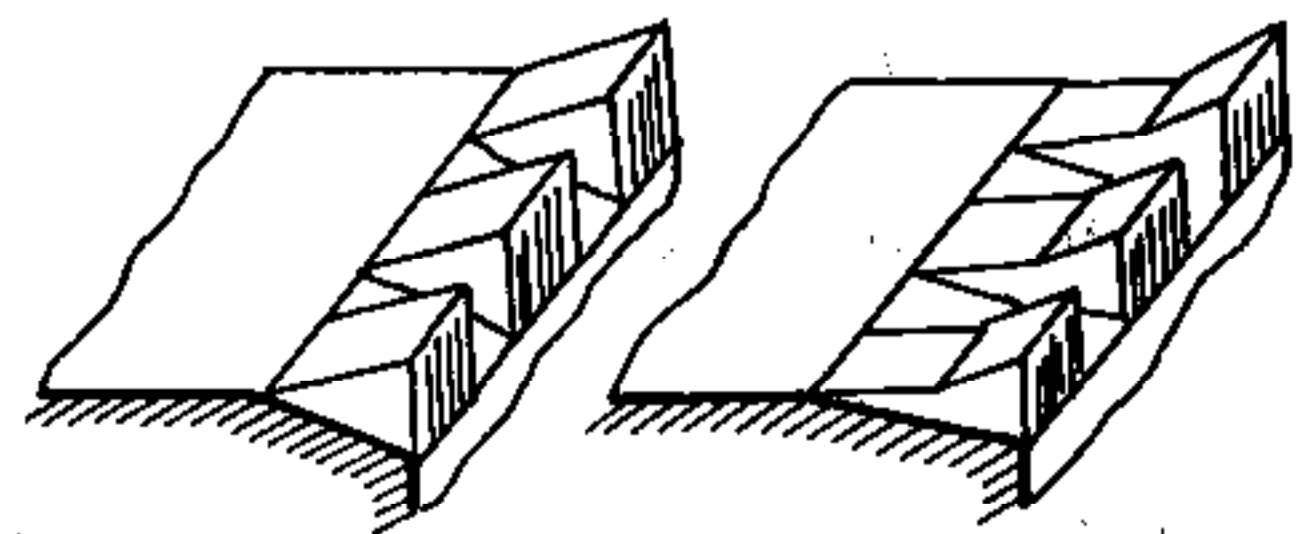
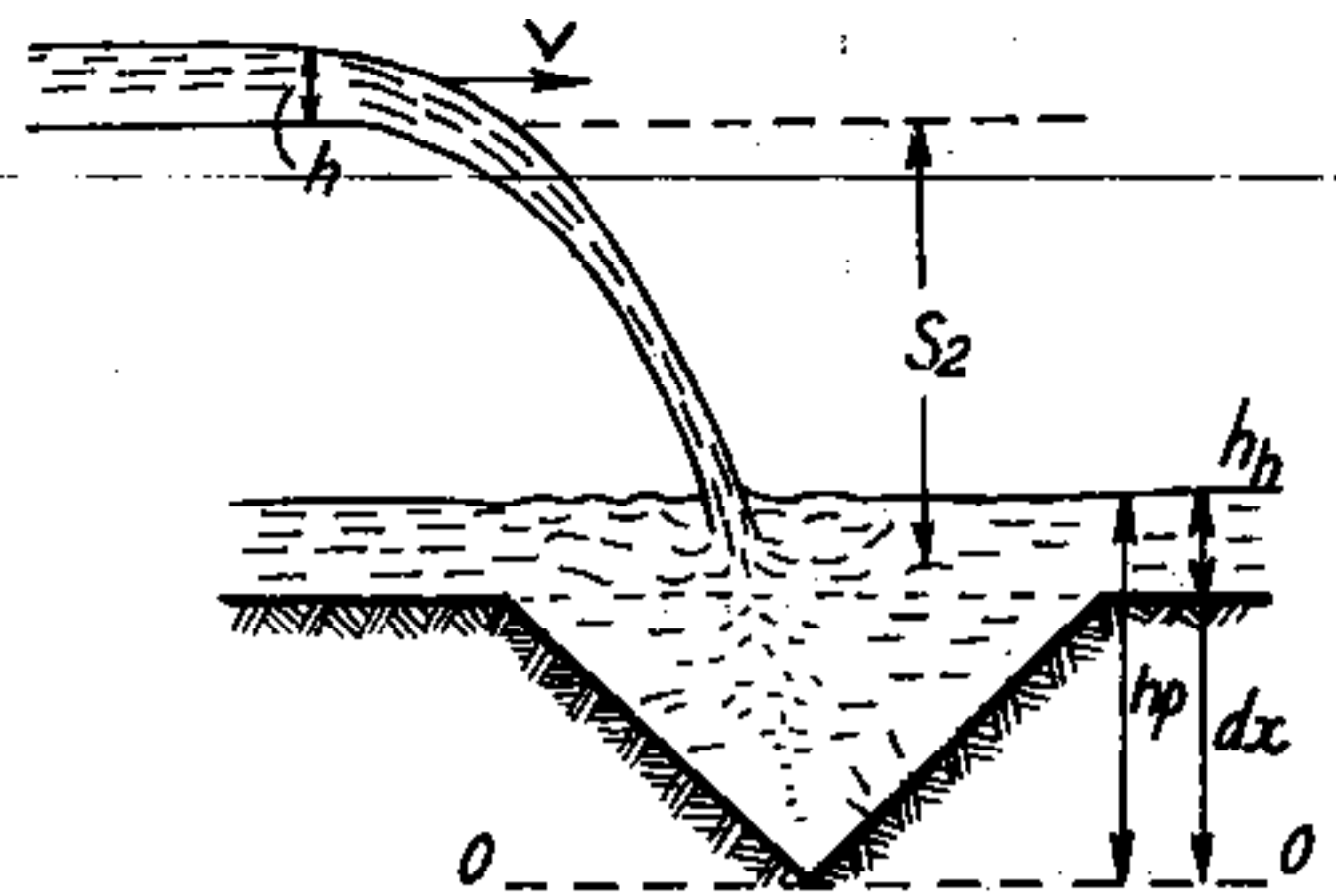
$$d'_x = \varepsilon \cdot d_x$$

Theo M. X. Vuzgo thì  $\varepsilon = 2 \div 2,70$ .

Cũng như vậy với mái dốc của phễu xói có thể lấy  $m = (1,50 - 1,75)$ .

Hiện nay tồn tại nhiều công thức tính chiều sâu phễu xói khác nhau, cho các kết quả khác nhau khá lớn, điều đó chứng tỏ rằng vấn đề này còn cần phải được nghiên cứu tiếp.

Trong thực tế, để giảm xói ở hạ lưu, người ta thường làm những ngưỡng răng đặc biệt ở cuối mũi phun. Đôi khi với các mũi phun hợp lí có thể giảm chiều sâu phễu xói đến một nửa.



## §XIV-5. TÍNH TOÁN THỦY LỰC CÁC LÒNG ĐỐC NƯỚC CÓ ĐỘ NHÁM GIA CƯỜNG

Khi gặp các đốc nước có độ dốc đáy lớn, vận tốc trên đốc rất lớn, vượt qua giới hạn cho phép của vật liệu, dẫn đến việc tiêu năng ở chính thân đốc và ở hạ lưu đều rất khó khăn.

Biện pháp tiêu năng hiệu quả nhất là dọc theo máng, người ta đặt các mố nhám nhân tạo để tăng cường độ nhám. Loại đốc nước có lòng máng như vậy được gọi là đốc nước có độ nhám gia cường.

Do tác dụng của các mố nhám này mà độ sâu dòng chảy tăng lên, còn vận tốc trung bình thì giảm đi.

### 1. Các loại mố nhám thường dùng

Mố nhám gia cường, thực chất là các vật cản có hình dạng, kích thước khác nhau, thường đặt ở đáy và 2 bên thành máng.

Các kĩ sư Nga là những người đầu tiên áp dụng loại này ở đường thả bè trong lưu vực sông Daugava. Đường thả bè này có mặt cắt ngang hình chữ nhật và đáy có các lá chắn dẹo bằng cành cây. Loại này chỉ có ý nghĩa lịch sử.

Hiện nay việc áp dụng nhám gia cường rất rộng rãi và có thể chia làm 3 loại chủ yếu :

- + Loại mố nhám đặt ở đáy ;
- + Loại mố nhám đặt ở 2 thành bờ ;
- + Loại mố nhám đặt ở đáy và cả 2 bên thành bờ.

### 2. Công thức tính toán độ nhám gia cường

Tính toán thủy lực cho các đốc nước có độ nhám gia cường trong điều kiện dòng chảy đều vẫn có thể áp dụng công thức Sêdi :

$$v = C_{gc} \sqrt{Ri} \quad (38)$$

Trong đó :  $C_{gc}$  - hệ số Sêdi tương ứng với kiểu mố nhám gia cường.

Hệ số Sêdi  $C_{gc}$  được xác định bằng thực nghiệm.

Ngoài ra do quan hệ giữa  $C$  và  $\lambda$  nên vận tốc cũng có thể tính theo :

$$v = \sqrt{\frac{8gRi}{\lambda_{gc}}} \quad (39)$$

Trong đó :  $\lambda_{gc}$  - hệ số ma sát thủy lực tương ứng kiểu mố nhám gia cường.

Đại lượng  $C_{gc}$  cũng như  $\lambda_{gc}$  đều phụ thuộc vào hình dạng, kích thước, cách bố trí mố nhám và cả độ sâu dòng chảy trên đỉnh mố.

Vì vậy vấn đề đặt ra là phải tính hoặc là  $C_{gc}$  hoặc là  $\lambda_{gc}$  đối với từng loại nhám.

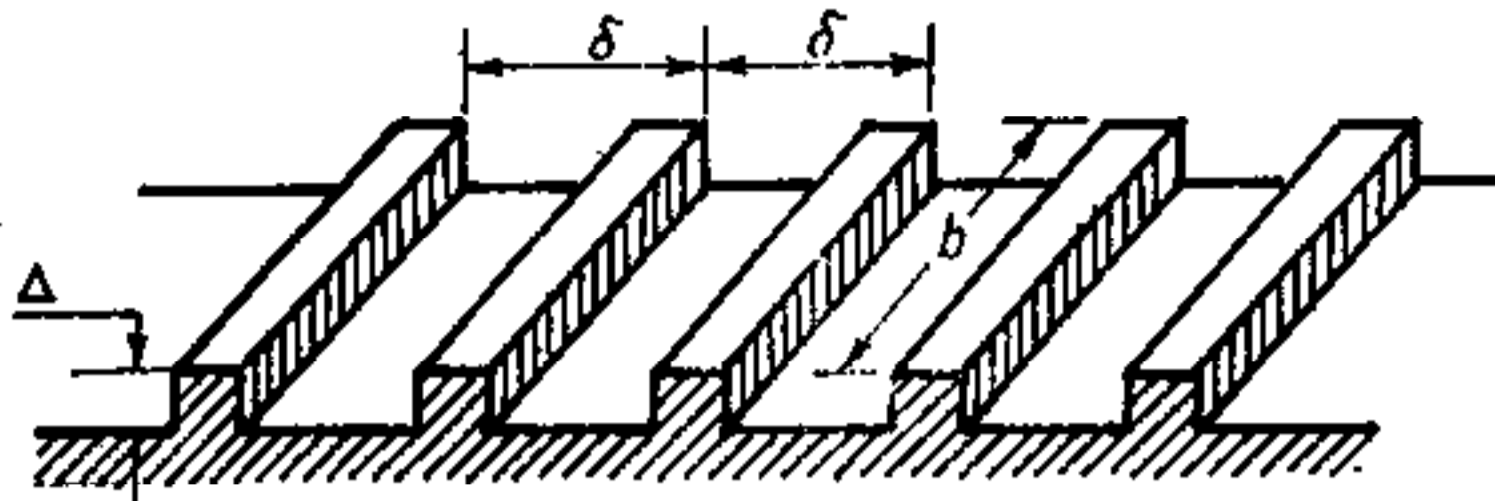
Hiện nay cũng có một vài phương pháp tính các đại lượng  $C_{gc}$  và  $\lambda_{gc}$  như các công thức của Picalóp, Aivanzian, Damarin, Phancovich, Nguyễn Tài v.v...

*Loại 1 : Mố nhám đặt ở đáy*

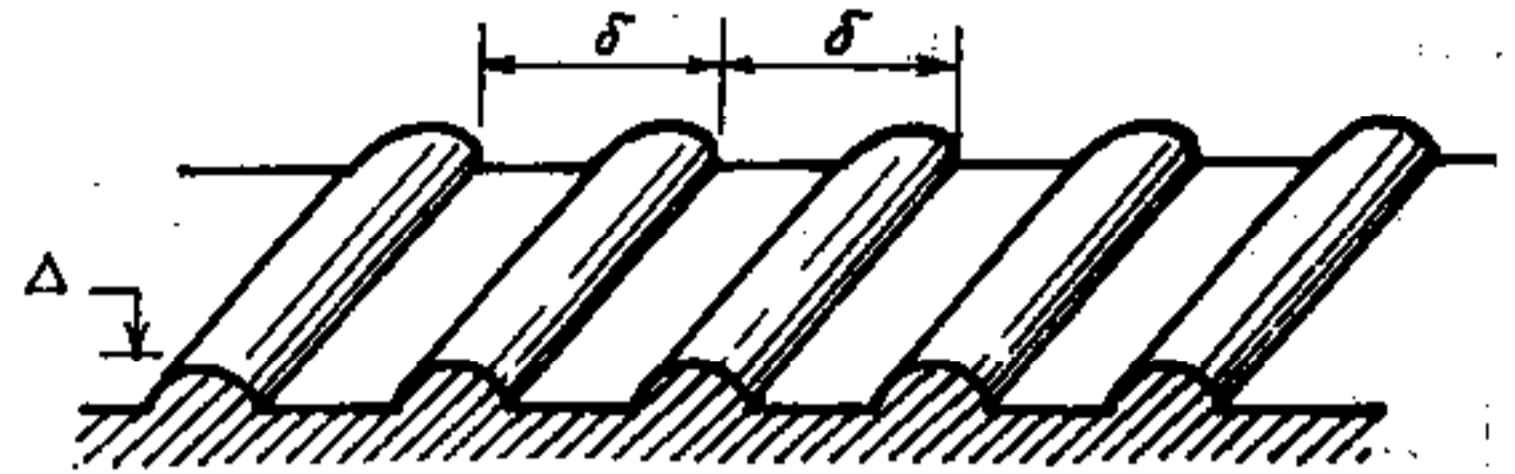
Loại này thường có các kiểu như sau :

Kiểu 1 - Mố nhám bằng các dầm hình chữ nhật đặt thẳng góc với dòng chảy (hình 1)

Kiểu 2 - Mố nhám bằng các dầm hình tròn đặt thẳng góc với dòng chảy (hình 2)



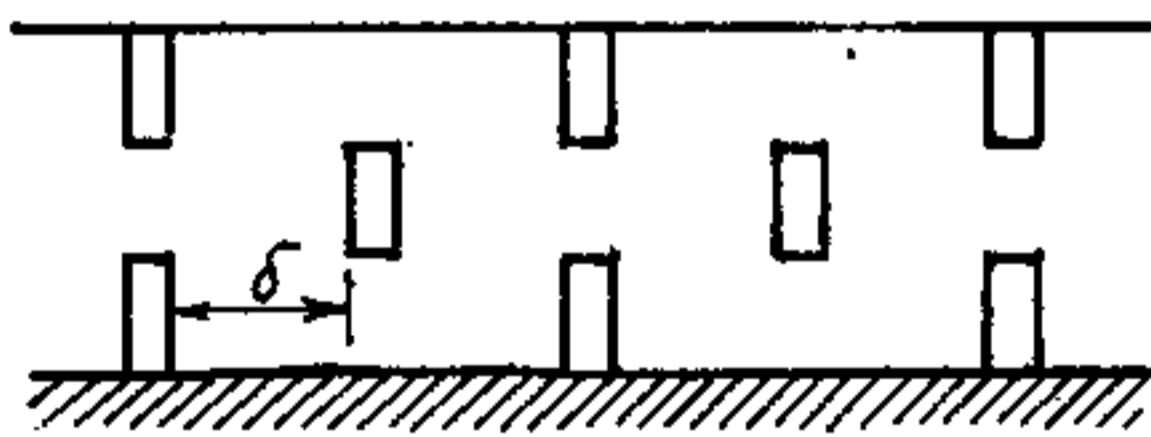
Hình 1



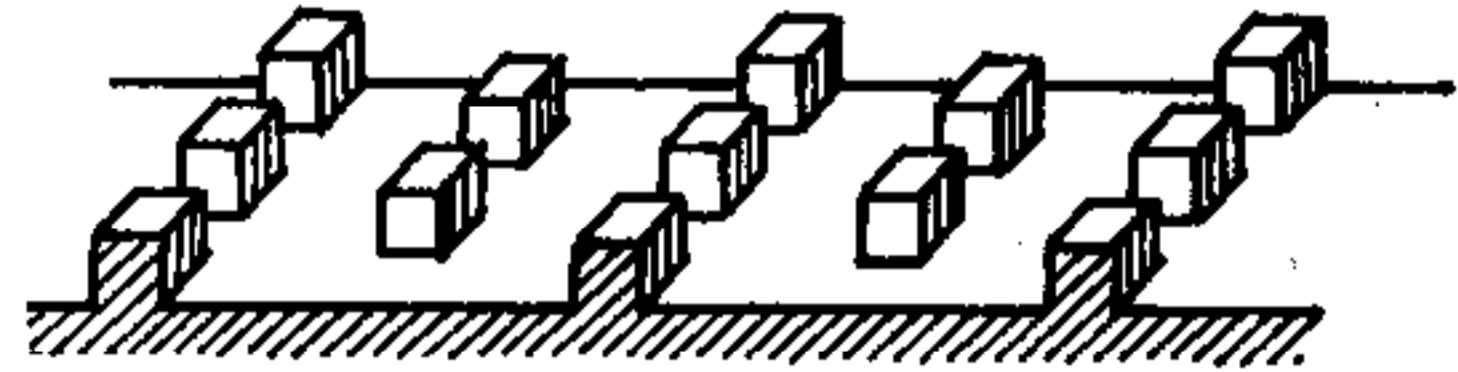
Hình 2

Kiểu 3 - Mố nhám bằng các dầm hình chữ nhật đặt so le nhau và thẳng góc với dòng chảy (hình 3)

Kiểu 4 - Mố nhám quân cờ đặt ở đáy theo hình bàn cờ (hình 4)



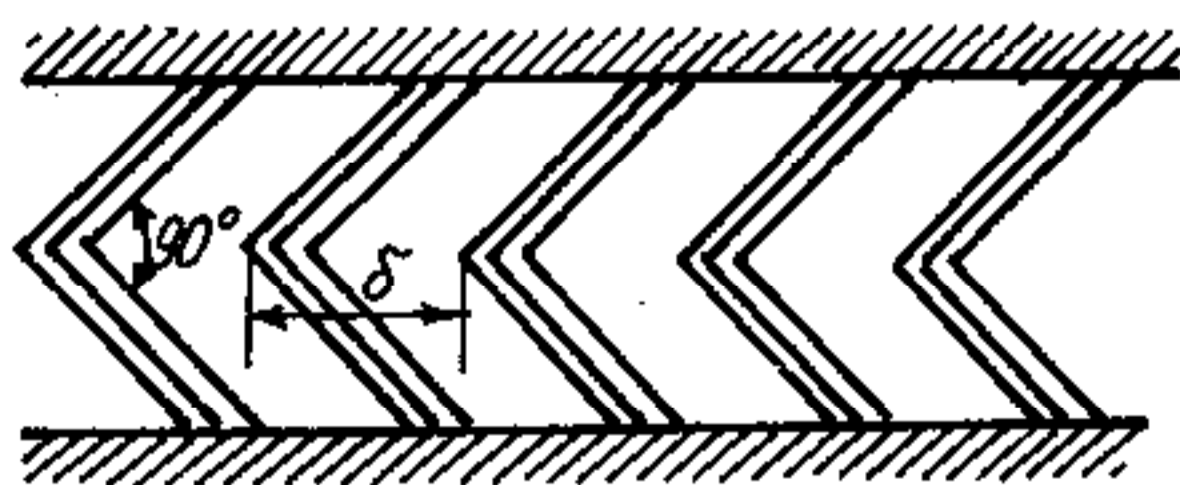
Hình 3



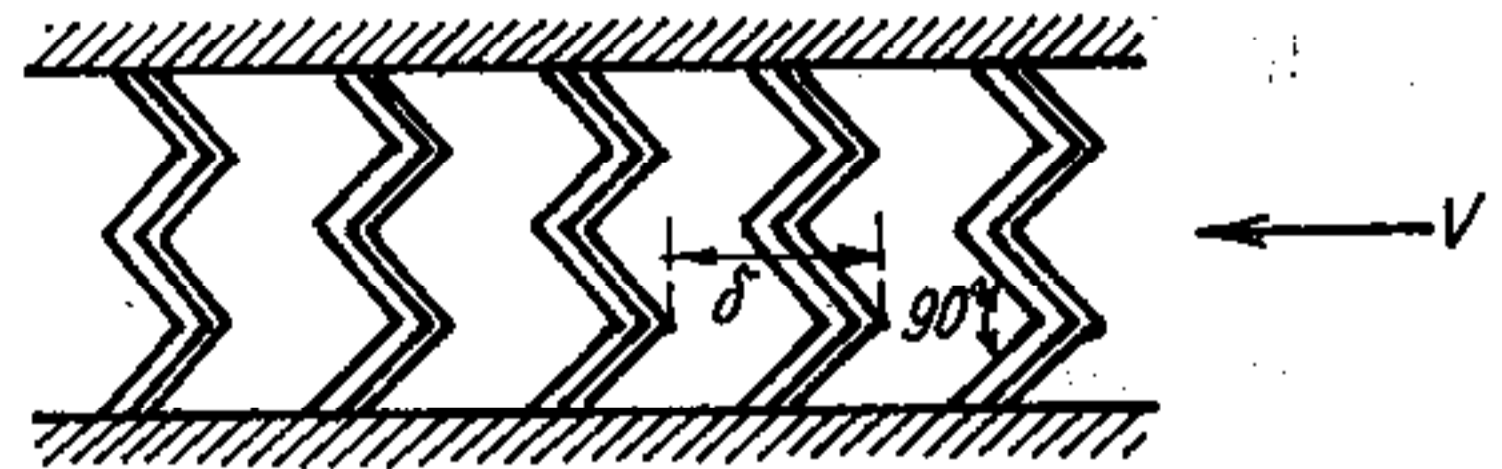
Hình 4

Kiểu 5 - Mố nhám chữ V ngược dòng (hình 5)

Kiểu 6 - Mố nhám chữ W có một mũi nhọn xuôi dòng (hình 6)



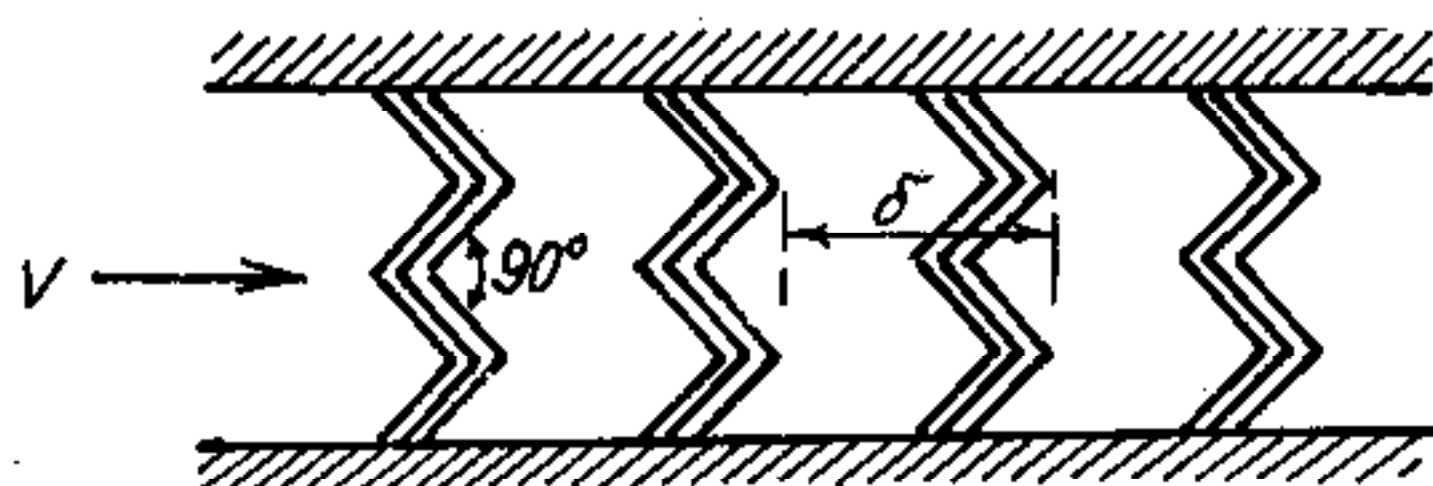
Hình 5



Hình 6

Kiểu 7 - Mố nhám chữ W, có hai mũi nhọn xuôi dòng (hình 7)

Kiểu 8 - Mố nhám răng cưa đặt xuôi dòng (hình 8)



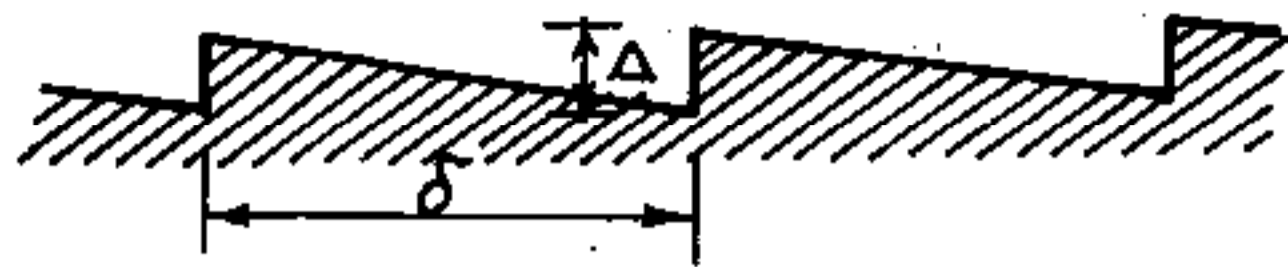
Hình 7



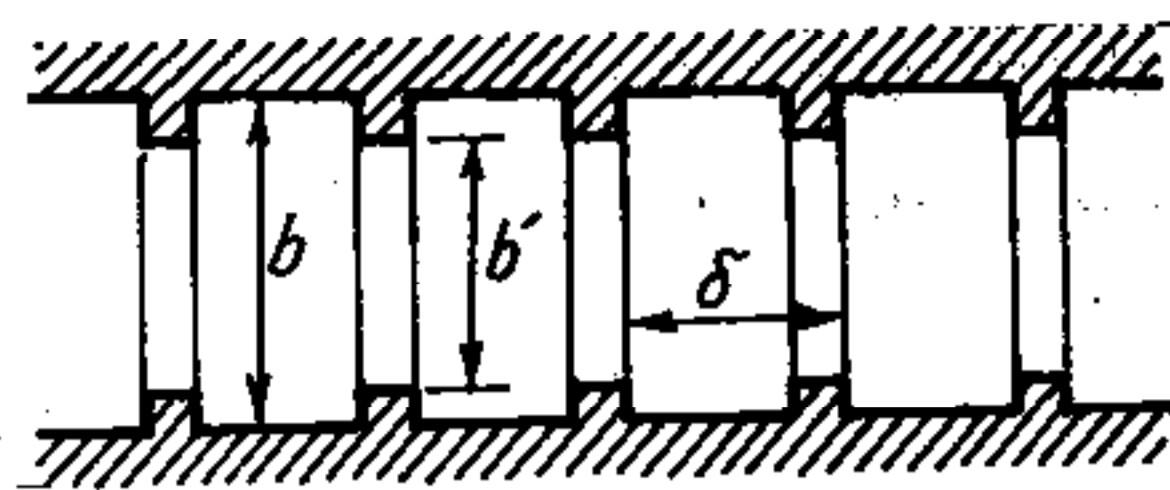
Hình 8

Kiểu 9 - Mố nhám răng cưa đặt ngược dòng (hình 9)

Loại II - Mố nhám đặt ở hai bên thành bờ (hình 10)



Hình 9

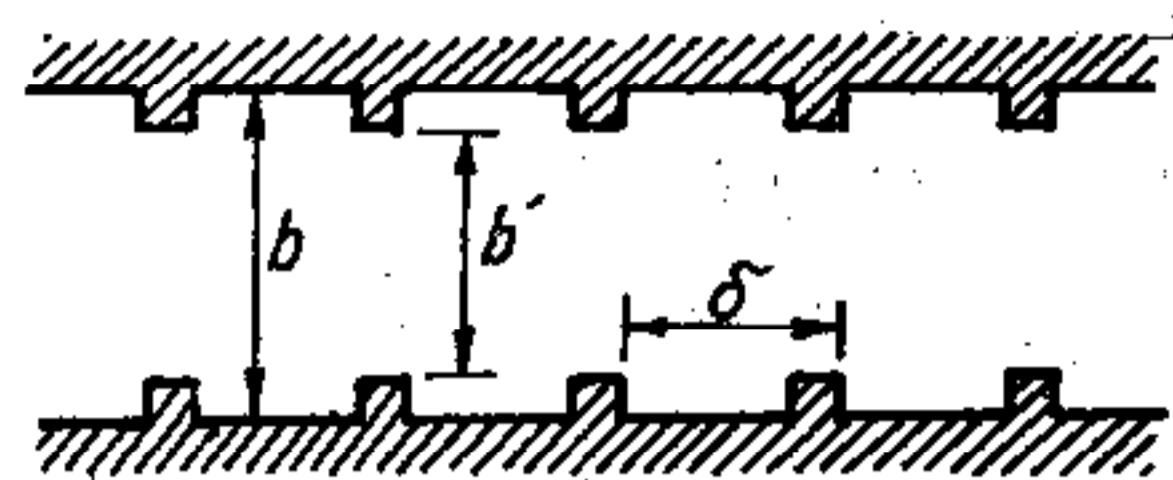


Hình 10

Loại III : Mố nhám đặt ở đáy và ở cả hai bên thành bờ (hình 11)

Sau đây là một số công thức tính toán :

+ Công thức của Aivanzian : dùng cho mố nhám loại 1 (đặt ở đáy)



Hình 11

$$\lambda_{gc} = M + 2.i^2 + N.i.lgi \left( \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{b}{\chi} \frac{1}{\sqrt{Fr}} \right) \quad (40)$$

Trong đó :

$\sigma$  - độ nhám tương đối  $\sigma = \frac{h}{\Delta}$  ;

$\Delta$  - chiều cao mố nhám ;

$b$  - chiều rộng dốc nước ;

$\chi$  - chu vi ướt của mặt cắt ngang dốc nước ;

$Fr$  - số Froude ;

$M, N$  - các hệ số thực nghiệm phụ thuộc vào kiểu mố nhám.

Công thức (40) đúng trong điều kiện  $\sigma = 7\Delta$  và  $\sigma \geq 3$ .

+ Công thức Damarin : dùng cho loại 1.

$$1000.n_{gc} = A - B\sigma + 10\sqrt[9]{\beta} \quad (41)$$

Trong đó :  $n_{gc}$  - hệ số nhám gia cường :

$$n_{gc} = \frac{1}{C_{gc}} ; \beta = \frac{b}{h} ;$$

$A$  - hệ số lấy phụ thuộc vào  $i$  và loại mố nhám ;

$B$  - hệ số thực nghiệm :

$B = 0,67$  đối với kiểu 8 ;

$B = 1,33$  đối với kiểu 9.

Trong các kiểu mố nhám thì kiểu hình chữ V và W là có hiệu quả hơn cả.



+ Công thức của Nguyễn Tài : xuất phát từ việc nghiên cứu hiện tượng vật lý<sup>(\*)</sup> của dòng chảy trong lòng dẫn có nhám lớn, tác giả đã đi đến một hình dung mới về hệ số ma sát thủy lực  $\lambda_*$  và số Raynon  $Re_*$ , đặc trưng cho tất cả các yếu tố ảnh hưởng của loại nhám này, đó là các kích thước hình học, hình dạng, sự phân bố các mố nhám, cụ thể là :

$$Re_* = \frac{4 \cdot v \cdot m}{\nu \cdot f \cdot m_\chi} \quad (42)$$

và

$$\lambda_* = \frac{8 \cdot g \cdot i \cdot n^3 \cdot m_{mccu}^2}{v^2 \cdot f \cdot m^2 \cdot m_\chi} \quad (43)$$

Trong đó :

$n$  - tỉ số giữa diện tích mặt cắt ướt và mặt cắt ngang (còn gọi là hệ số rỗng) ;

$m_{mccu}$  - hệ số chuyển tiếp của mặt cắt ướt ;

$f$  - bề mặt tổng cộng của mố nhám trong một đơn vị thể tích của dòng chảy ;

$m, m_\chi$  - các hệ số chuyển tiếp của mặt cắt ngang và chu vi ướt.

Công thức tổng quát để tính vận tốc trong lòng dẫn có nhám lớn là :

$$v = K_* \cdot i^\alpha \quad (44)$$

Trong đó :

$K_*$  - hệ số phụ thuộc vào đặc tính của mố nhám (loại), loại lòng dẫn, cách bố trí nhám trong lòng dẫn và vào trạng thái dòng chảy.

$\alpha$  - chỉ số mũ, phụ thuộc vào trạng thái dòng chảy (tựa tầng  $\alpha = 1,0$  ; bình phương sức cản  $\alpha = 0,5$ )

$$K_{*II} = \frac{32g \cdot n^3 \cdot m_{mccu}^3}{A \cdot \nu \cdot m f^2 \cdot m_\chi^2} \quad (45)$$

(\*) Thực chất vấn đề ở đây là việc chọn các đặc trưng chiều dài và vận tốc trong biểu thức quan hệ  $\lambda = f(Re)$  sao cho chúng hoàn toàn phù hợp với bản chất vật lý của dòng chảy. Ví dụ trong đường ống và kênh dẫn tự do các đặc trưng đó là  $R, h$  và  $v$  ; trong dòng chảy bao là đường kính của vật  $d$  và vận tốc tương đối của vật. Đối với dòng chảy trong lòng dẫn có nhám lớn, vấn đề trở nên phức tạp hơn. Đặc trưng ở đây chính là kết cấu hình học của bản thân các mố nhám và lòng dẫn. Vì thế việc chọn các thông số đặc trưng chiều dài và vận tốc phải có quan hệ chặt chẽ với các đặc trưng cơ bản của kết cấu lòng dẫn có nhám lớn.

Thông số đặc trưng chiều dài ở đây được xét đến thông qua bán kính thủy lực  $R_*$ , là đại lượng của tỉ số độ rỗng  $n$  và bề mặt tổng cộng của mố nhám trong một đơn vị thể tích của dòng chảy  $f$ , tức là :

$$R_* = \frac{n}{f}$$

còn đặc trưng vận tốc được chọn là vận tốc thực của chất lỏng đi qua mặt cắt ướt của lòng dẫn. Vận tốc đó được xác định thông qua hệ số rỗng  $n$  và bằng

$$v_* = \frac{v}{n}$$

$$K_{*bpsc} = \frac{1}{m} \sqrt{\frac{8g \cdot n^3 \cdot m^3_{mcu}}{\text{const.} \cdot f \cdot m_\chi}} \quad (46)$$

Phương pháp tính toán này mang tính tổng quát, cho phép chọn kích thước và sự phân bố nhám theo các giá trị  $[v_{max}]$ .

Kết quả tính toán theo các phương pháp khác nhau được ghi trong bảng dưới đây :

Theo các phương pháp	$\Delta$ , cm	$l/\Delta$
Nguyễn Tài	5	5,65
	10	8,13
	15	9
O. M. Aivazian	13	8
E. A. Damarin	10	8
I. I. Goodienco	10	5

Trên đây là kết quả tính toán với cùng các điều kiện về  $[v_{max}]$ , về chiều rộng lòng dẫn và với loại nhám thanh đặt ngang, trong đó  $l$  là khoảng cách giữa các thanh.

**Ví dụ XIV-1 :**

Xác định kích thước cửa vào bậc nước kiểu đập tràn thực dụng khe hở với lưu lượng kênh thượng lưu  $Q_{max} = 12,8 m^3/s$ ,  $Q_{min} = 5,5 m^3/s$  đường quan hệ  $Q = f(h_0)$ .

Giải :

Theo đồ thị ta xác định được :

$$Q_{max} = 12,8 m^3/s \text{ ứng với}$$

$$h_{max} = 1,81m$$

$$Q_{min} = 5,5 m^3/s \text{ ứng với}$$

$$h_{min} = 1,17m$$

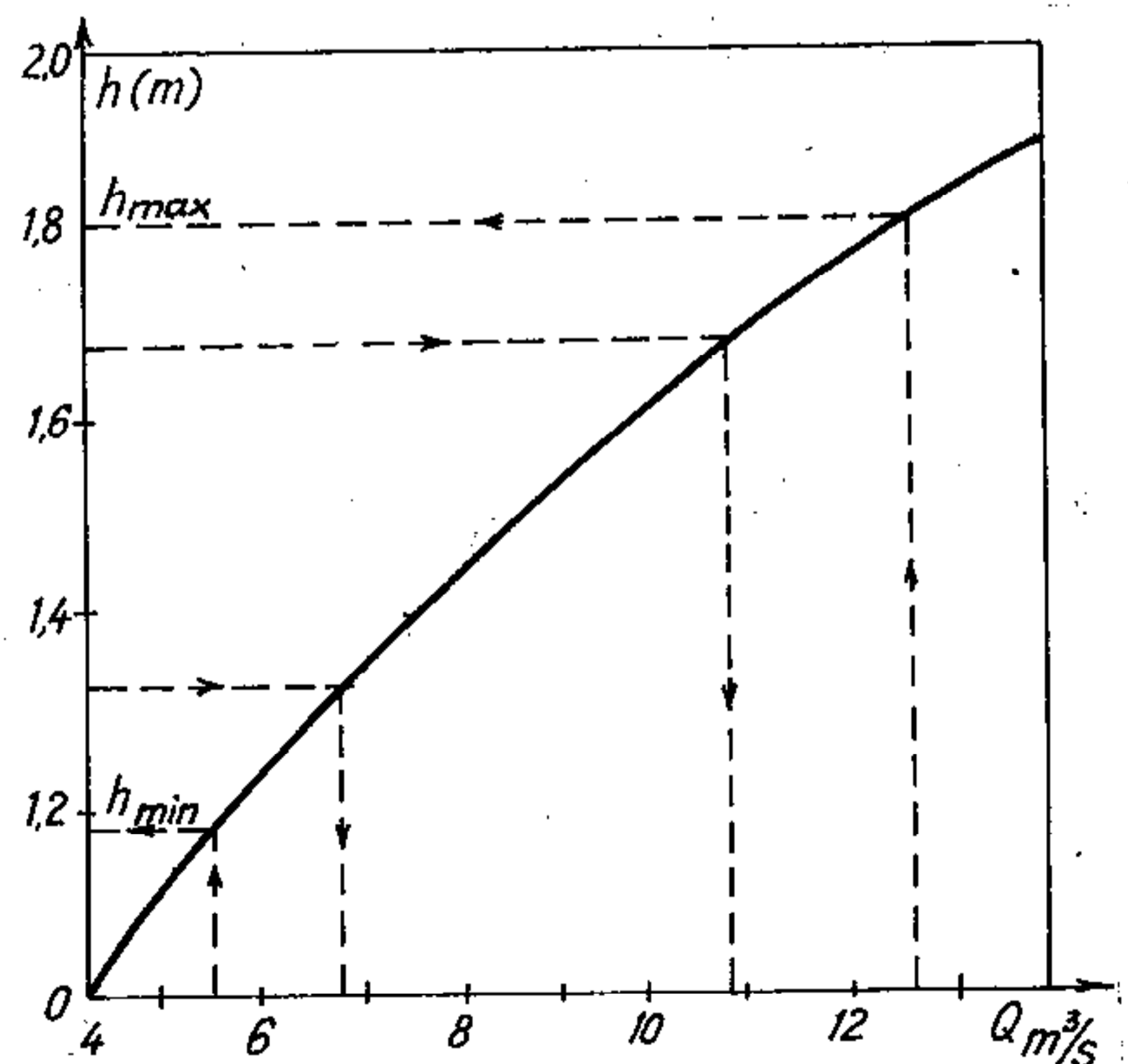
Có  $h_{max}$  và  $h_{min}$  ta tính  $h_1$  và  $h_2$

$$\begin{aligned} h_1 &= h_{max} - 0,25(h_{max} - h_{min}) \\ &= 1,81 - 0,25(1,81 - 1,17) \\ &= 1,65m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= h_{min} + 0,25(h_{max} - h_{min}) \\ &= 1,17 + 0,25(1,81 - 1,17) \\ &= 1,33m \end{aligned}$$

Có  $h_1$  và  $h_2$  dựa vào quan hệ  $Q = f(h_0)$  có  $Q_1 = 10,81 m^3/s$

$$Q_2 = 6,95 m^3/s.$$



Để bảo đảm dòng chảy trong kênh thượng lưu luôn chảy đều nghĩa là :

$$h_1 = H_1 = 1,65\text{m}$$

$$h_2 = H_2 = 1,33\text{m}$$

Ở đây bỏ qua cột nước vận tốc  $H_{o1} = 1,65\text{m}$ ,  $H_{o2} = 1,33\text{m}$ . Theo (9)

$$A_1 = \frac{Q_1}{m\sqrt{2g} H_{o1}^{3/2}} \quad A_2 = \frac{Q_2}{m\sqrt{2g} H_{o2}^{3/2}}$$

Thay  $H_{o1}$ ,  $H_{o2}$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  xác định  $A_1$ ,  $A_2$ .

$$A_1 = \frac{10,61}{0,42 \cdot 4,43 \cdot 1,65^{3/2}} = 2,74\text{m}$$

$$A_2 = \frac{6,95}{0,42 \cdot 4,43 \cdot 1,33^{3/2}} = 2,43\text{m}$$

$$m' = \frac{A_1 - A_2}{\varepsilon \cdot a(H_1 - H_2)} = \frac{2,74 - 2,43}{1,65 - 1,33} \times 1,25 = 1,2$$

$$b' = \frac{H_1 A_2 - H_2 A_1}{H_1 - H_2} = \frac{4,01 - 3,64}{0,32} = 1,15\text{m}$$

Ta lấy đập tràn có cửa vào hình thang có  $b' = 1,2\text{m}$ ,  $m' = 1,2$ .

*Ví dụ XIV-2 :*

Bậc nước có hai cấp trên nền đá, mỗi cấp cao 2,5m. Sân bậc không có ngưỡng tiêu năng,  $i = 0$ ,  $n = 0,017$ , vận tốc cho phép  $[v_{\max}] = 9\text{m/s}$ .

Xác định chiều rộng và chiều dài sân bậc với  $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Giải :

Chọn trước  $b$  theo điều kiện  $v_{\max} = [v]$ ,  $b = 20\text{m}$

$$q = \frac{100}{20} = 5\text{m}^2/\text{s}$$

$$H_{o1} = \left( \frac{q}{m\sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left( \frac{5}{0,42 \times 4,43} \right)^{2/3} = 1,93 \text{ m}$$

Tính chiều sâu cơ hẹp trên sân bậc thứ nhất

$$E_{o1} = P + H_{o1} = 2,5 + 1,93 = 4,43\text{m}$$

$$F(\tau_c) = \frac{q}{\varphi \cdot E_{o1}^{3/2}} = \frac{5}{0,95 \times (4,43)^{3/2}} = 0,56$$

Tra bảng phụ lục 9 có  $\tau_c = 0,137$

$$h_c = \tau_c \cdot E_{o1} = 0,137 \times 4,43 = 0,61\text{m}$$

Chiều sâu phân giới  $h_k$

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{25}{9,81}} = 1,37\text{m}$$

Tính chiều dài đoạn nước dâng  $c_o$  từ  $h_c$  đến  $h_k$  theo phương pháp cộng trực tiếp

$$\Delta l_{ck} = \frac{\Delta \vartheta}{i - \bar{J}} = \frac{\vartheta_k - \vartheta_c}{i - \bar{J}} \text{ với } i = 0$$

$$\vartheta_k = h_k + \frac{\alpha V_k^2}{2g} = 1,37 + 0,68 = 2,05\text{m}$$

$$\vartheta_c = h_c = \frac{\alpha V_c^2}{2g} = 0,61 + 3,42 = 4,03\text{m}$$

$$\bar{h} = \frac{0,61 + 1,37}{2} = 0,99\text{m} \approx 1\text{m}$$

$$\bar{\omega} = b \times \bar{h} = 20\text{m}^2$$

$$\bar{\alpha} = 2\bar{h} + b = 22\text{m}$$

$$\bar{R} = 0,91\text{m} \quad C\sqrt{R} = 55,41$$

$$\bar{J} = \frac{Q^2}{K^2} = \frac{100^2}{(\omega c \sqrt{R})^2} = \frac{10000}{1228107} = 0,00814$$

$$\Delta l_{ck} = l_k = \frac{2,05 - 4,03}{-0,00814} = 248\text{m}$$

$$l_1 = 2h_k = 1,37 \times 2 = 2,74\text{m}$$

$$l_r = 1,33 \sqrt{H_o(P + 0,3H_o)} \\ = 1,33 \sqrt{1,93(2,5 + 0,3 \times 0,58)} = 3,02\text{m}$$

$$L_k = l_k + l_1 + l_r = 2,74 + 3,02 + 248 = 253,76\text{m}$$

Chiều dài sàn bậc  $L_k = 253,76\text{m}$ .

**Ví dụ XIV-3 :**

Tháo lũ cho hồ chứa với lưu lượng  $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$  xuống một dốc nước cao 8m, dài 100m,  $i = 0,08$ . Dốc bằng đá xây ( $n = 0,017$ ) rộng  $b = 40\text{m}$ . Tính mố nhám gia cường để đảm bảo vận tốc ở cuối dốc không vượt quá  $[v_{\max}] = 7 \text{ m/s}$ .

Giải :

Ở đây ta tính như một bài toán phẳng vì  $b \gg h$

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{200}{40} = 5 \text{ m}^2/\text{s}$$

Độ sâu chảy đều trên dốc khi không có độ nhám gia cường ( $n = 0,017$ )  
 $h_o = 0,48\text{m}$

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{25}{9,81}} = 1,37\text{m}$$

$h_o > h_k$  cửa vào không ngưỡng, đường mặt nước có dạng  $b_{II}$ . Độ sâu cuối thân dốc gần bằng độ sâu chảy đều.

$$v_{\max} = \frac{q}{h_o} = \frac{5}{0,48} = 10,4 \text{ m/s} > [v_{\max}]$$

Như vậy phải bảo đảm  $v < [v_{\max}]$  cần phải làm các mố nhám để tạo nên độ nhám gia cường từ vị trí có  $v = 7 \text{ m/s}$ .

Ứng với vị trí có  $v = 7 \text{ m/s}$  độ sâu dòng chảy tính từ đỉnh mố nhám đến mặt thoáng.

$$h = \frac{q}{v} = \frac{5}{7} = 0,715\text{m.}$$

$$v = C_{gc} \cdot \sqrt{\frac{hi}{7}} = C_{gc} \cdot \sqrt{0,715 \times 0,08} = 7 \text{ m/s}$$

$$C_{gc} = \frac{7}{\sqrt{0,715 \times 0,08}} = 29,3 \text{ m}^{0,5}/\text{s}$$

Mố nhám làm theo dạng răng cưa ngược dòng

$$C_{gc} = \frac{1000}{A - B \cdot \sigma + 10 \sqrt[3]{\beta}}$$

$i = 0,08$  do đó  $A = 35, B = 1,33$

$$\beta = \frac{b}{h} = \frac{40}{0,715} = 56 \rightarrow C_{gc} = 29,3 \text{ m}^{0,5}/\text{s}$$

Từ đó tính được

$$\sigma = 12,4 = \frac{h}{\Delta}$$

$\Delta$  : chiều cao mố nhám

$$\Delta = \frac{h}{\sigma} = \frac{0,715}{12,4} = 0,058\text{m}$$

Mố nhám đặt từ vị trí có  $h = 0,715\text{m}$  trở về cuối. Xác định chiều dài từ đầu dốc  $h = h_k$  đến  $h = 0,715\text{m}$ .

$$\Delta l = \frac{\Delta \vartheta}{i - \bar{J}}$$

$$\Delta \vartheta = \vartheta_c - \vartheta_d$$

$$\vartheta_d = h_k = \frac{\alpha v_k^2}{2g} = 1,37 + 0,68 = 2,05\text{m}$$

$$\vartheta_c = h_c + \frac{\alpha v_c^2}{2g} = 0,715 + 2,5 = 3,215\text{m}$$

$$\bar{J} = \frac{J_d + J_c}{2} = \frac{0,0026 + 0,0217}{2} = 0,01215$$

$$J_d = \frac{Q^2}{K_d^2} = 0,0026$$

$$J_c = \frac{Q^2}{K_c^2} = 0,0217$$

Với

$$K_d = \omega_k \cdot C_k \sqrt{R_k} = 5,48 \cdot 47,5 = 260,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$K_c = \omega_c \cdot C_c \sqrt{R_c} = 2,86 \cdot 71,7 = 205,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta l = \frac{3,215 - 2,05}{0,08 - 0,01215} = \frac{1,165}{0,06785} = 17,2\text{m}$$

Như vậy đoạn đầu dốc từ  $h = h_k$  đến  $h = h_c = 0,715$  với  $l = 17,2\text{m}$  có  $v < 7 \text{ m/s}$  không làm nhám gia cường.