LỜI NÓI ĐẦU

Tiếp theo giáo trình Thủy lực tập I, sách Thủy lực tập II này được biên soạn với nội dung về thủy lực chuyên môn theo chương trình đã được Hội đồng môn học Thủy lực của Bộ Giáo dục - Đào tạo duyệt. Sách dùng cho các ngành thủy lợi cảng - đường thủy, cầu đường, cấp thoát nước hệ chính quy cũng như hệ tại chức và hệ đào tạo từ xa.

Ngoài các nội dung lí thuyết cơ bản được trình bày ngắn gọn, súc tích còn có các ví dụ có lời giải nhằm giúp người đọc nắm vững cách tính toán các công trình cụ thể, cách sử dụng các tài liệu tra cứu (bảng tra, biểu đồ). Cũng để giúp người đọc tự lực giải các bài toán trong thủy lực chuyên môn, trong sách cũng có các ví dụ chưa giải. Người đọc có thể tự kiểm tra kết quả thông qua các đáp số cuối mỗi bài. Phần ví dụ tính toán nói trên do TS.KHKT Lê Bá Sơn thực hiện.

Trong quá trình biên soạn tác giả đã nhận được nhiều ý kiến quý báu của các bạn đồng nghiệp trong và ngoài trường đại học Xây dựng. Tác giả xin chân thành cảm tạ và đặc biệt xin cảm ơn sự đóng góp của PGS.TS Hoàng Văn Quý và TS. Lê Bá Sơn trong lần xuất bản này.

TÁC GIẢ

LỜI TỰA

Cho lần xuất bản thứ hai - năm 1999

Sau khi cuốn sách được xuất bản lần đầu - năm 1997, chúng tôi đã nhận được nhiều ý kiến quý báu của các bạn đồng nghiệp và của bạn đọc. Xin chân thành cảm ơn. Các nhận xét đóng góp đã được lưu ý trong lần xuất bản này.

Ngoài ra, để cuốn sách có thể có ích cho đông đảo bạn đọc hơn, trong lần xuất bản này chúng tôi đã đưa thêm chương XVI - ***Chuyển động của nước ngầm*** và sắp xếp lại thứ tự các chương - xếp chương ***Mô hình hóa các hiện tượng thủy động lực*** xuống cuối cuốn sách.

Một lần nữa xin chân thành cảm ơn các bạn đồng nghiệp và bạn đọc. Rất mong tiếp tục nhận được ý kiến nhận xét của các vị.

Hà Nội ngày 18 tháng 8 năm 1999
Các tác giả

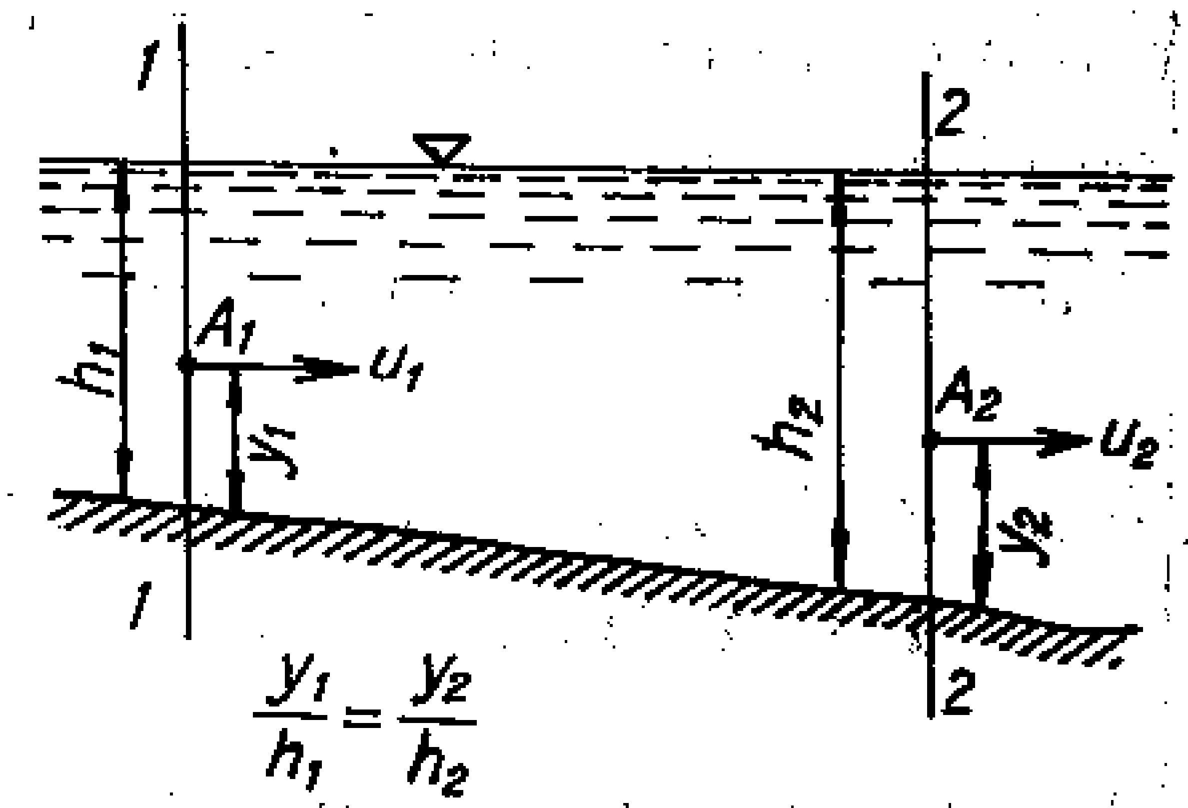
Chương IX

CHUYỂN ĐỘNG ỔN ĐỊNH KHÔNG ĐỀU TRONG LÒNG DẪN HỞ

§IX-1. KHÁI NIỆM

Chuyển động ổn định không đều là chuyển động mà vận tốc tại các điểm tương ứng của 2 mặt cắt cạnh nhau không bằng nhau.

Trong thực tế thường gặp chuyển động không đều khi có chướng ngại trên lòng dẫn, ví dụ do xây dựng đập tràn làm mặt nước dềnh lên, do xây dựng bậc thẳng đứng trên đáy lòng dẫn làm mặt nước hạ thấp xuống hay do kênh thay đổi độ dốc cũng làm cho độ sâu mực nước trong lòng dẫn thay đổi, dẫn tới mặt nước không song song với đáy kênh như ở dòng chảy đều nữa v.v...



Nghiên cứu dòng không đều, điều quan trọng nhất là cần biết quy luật thay đổi của chiều sâu h dọc theo dòng chảy :

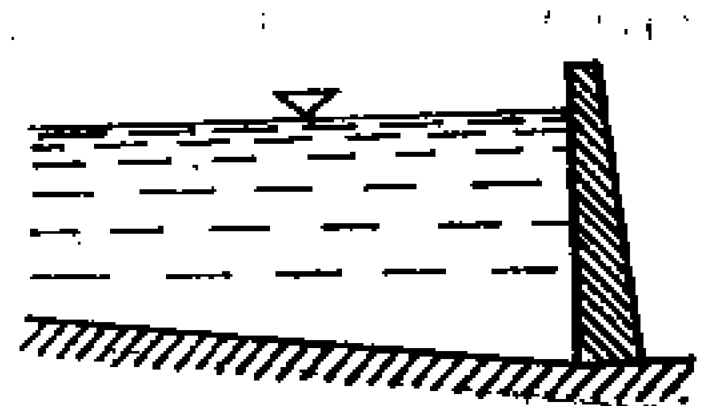
$$h = h(s).$$

và từ đó có thể suy ra sự thay đổi của chiều sâu h dọc theo dòng chảy và của các yếu tố thủy lực khác như diện tích mặt cắt ướt, vận tốc v.v... Trong trường hợp tổng quát các đại lượng nói trên thay đổi dọc theo dòng chảy, tức là :

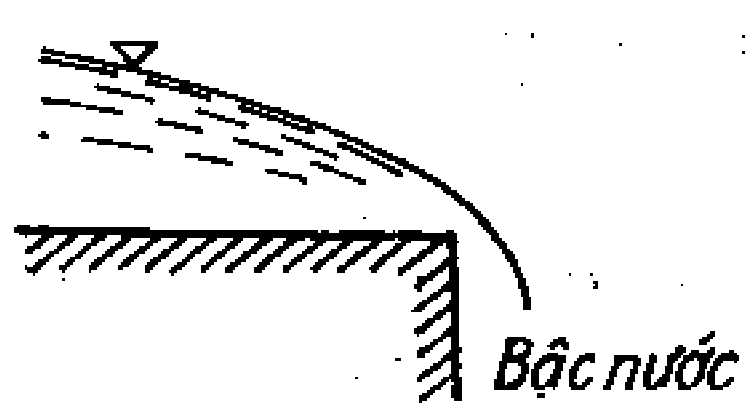
$$\frac{\partial v}{\partial s} \neq 0 \; ; \; \frac{\partial h}{\partial s} \neq 0 \text{ và } \frac{\partial J}{\partial s} \neq 0$$

còn vì là chuyển động ổn định nên

$$\frac{\partial Q}{\partial s} = 0.$$

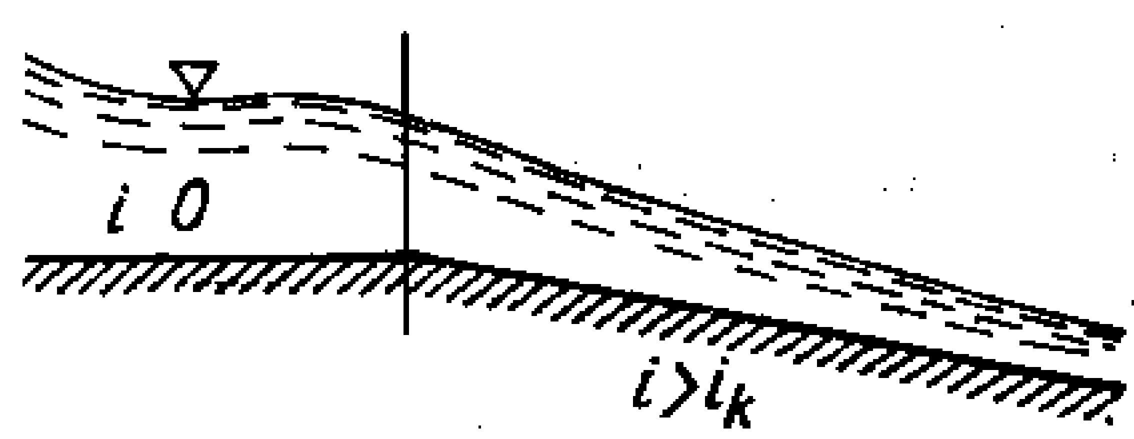


Đập ngăn



Từ đó trong chuyển động không đều các độ dốc thủy lực, đường mặt nước và đáy lòng dẫn không bằng nhau :

$$+ \; J_{tl} = \frac{dh_w}{ds} = - \frac{dE}{ds} \; ;$$

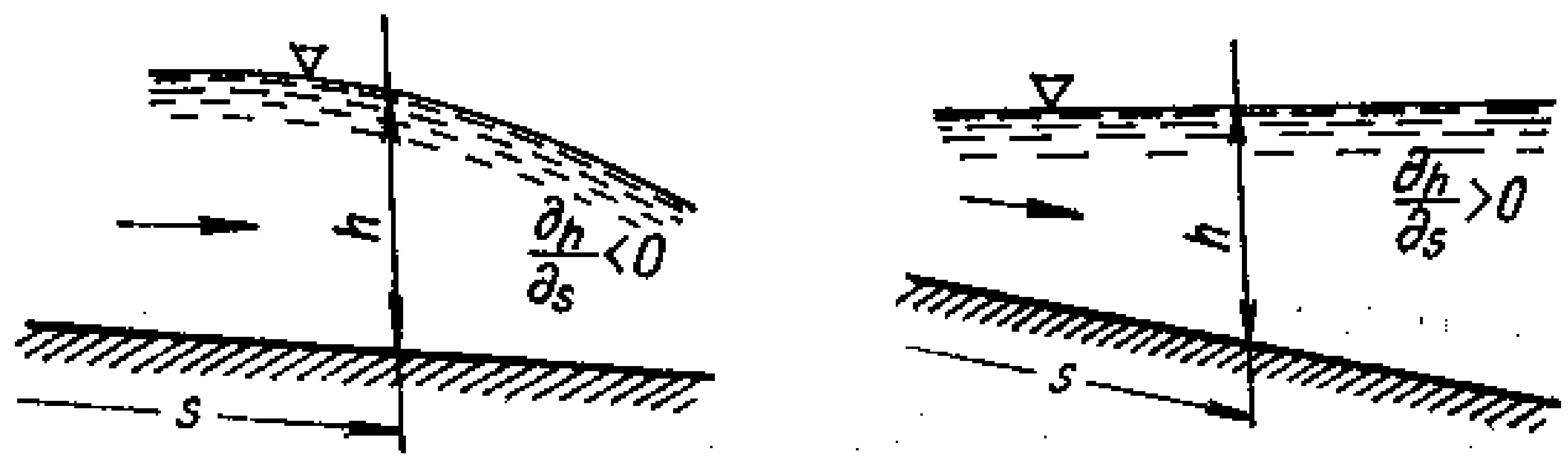


Độ dốc thay đổi

+ $J_p = -\dfrac{dH}{ds}$; trong đó H = z + h ; h = chiều sâu mực nước trong lòng dẫn ; z - tọa độ của đáy lòng dẫn.

+ $i = -\dfrac{dz}{ds}$.

Trong lòng dẫn lăng trụ có thể phân ra 2 trường hợp tùy thuộc vào sự thay đổi của chiều sâu dòng chảy :



+Nếu chiều sâu h giảm dần theo chiều chảy - ta có đường nước hạ, vận tốc dòng chảy tăng dần (dv/ds > 0) và chuyển động đó thuộc loại chuyển động nhanh dần.

+Ngược lại nếu chiều sâu tăng dần dọc dòng chảy - ta có đường nước dâng, vận tốc dòng chảy giảm dần (dv/ds < 0) và chuyển động đó thuộc loại chuyển động chậm dần.

Các chuyển động này cũng được gọi là chuyển động thay đổi dần

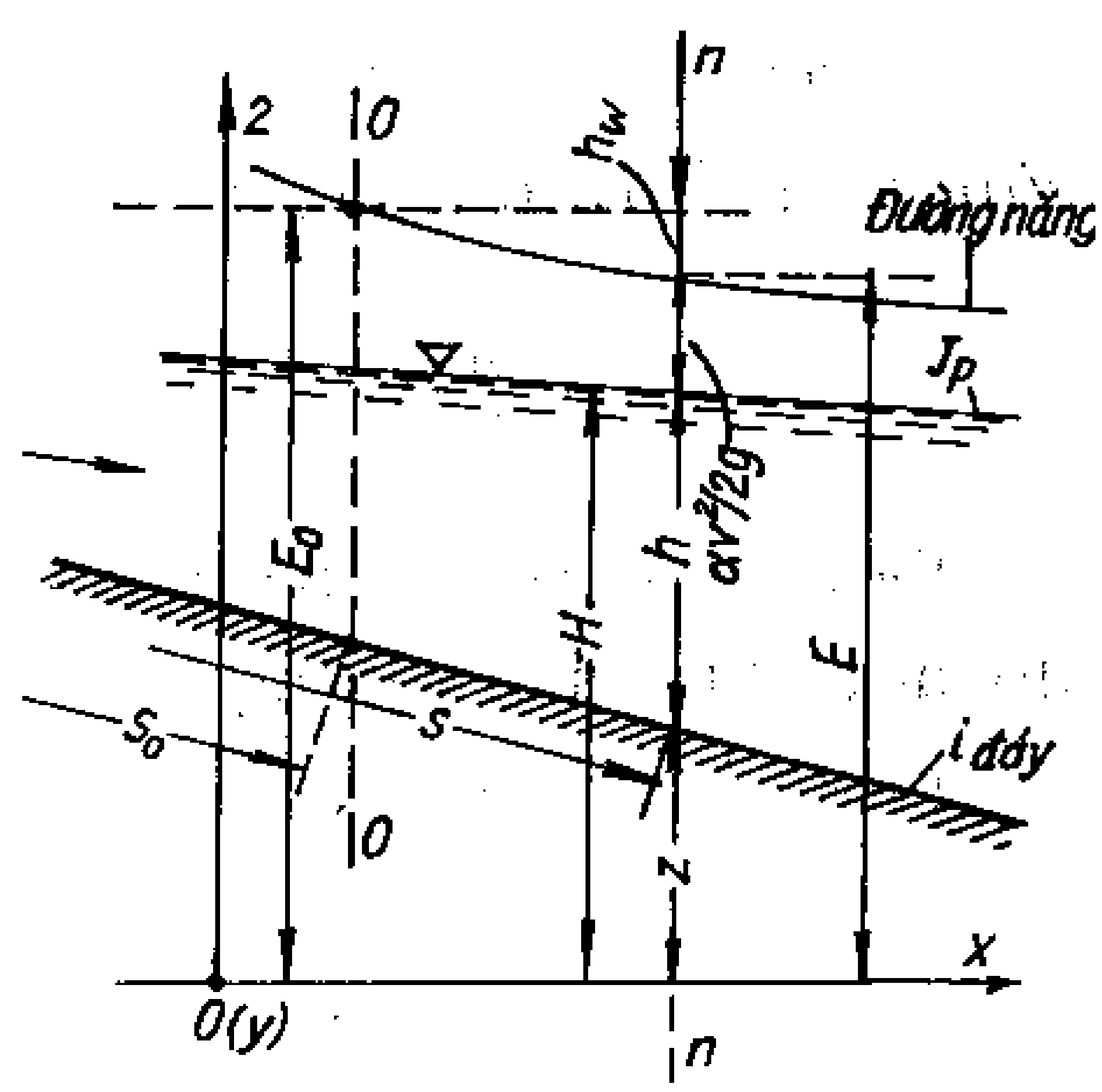
§IX-2. PHƯƠNG TRÌNH CƠ BẢN CỦA CHUYỂN ĐỘNG KHÔNG ĐỀU THAY ĐỔI DẦN

1. Phương trình thứ nhất

Ta xem áp suất thủy động được phân bố như thủy tĩnh nên có thể áp dụng phương trình Bécnui cho 2 mặt cắt 0-0 và bất kì n-n. Lấy Ox làm mặt chuẩn, ta có :

$$z_o + h_o + \frac{\alpha v_o^2}{2g} = z + h + \frac{\alpha v_o^2}{2g} + h_w = \text{const}$$

Kí hiệu : z + h = H, sau khi lấy vi phân vế phải, ta có :



$$dH + d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + dh_w = 0 \qquad (1)$$

Chia cho ds :

$$\frac{dH}{ds} + \frac{d}{ds}\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + \frac{dh_w}{ds} = 0$$

hoặc $$-\frac{dH}{ds} = \frac{d}{ds}\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + \frac{dh_w}{ds} \qquad (2)$$

Nhưng ta lại có :

$-\dfrac{dH}{ds} = J_p$ là độ dốc mặt thoáng, còn $\dfrac{dh_w}{ds} = J_{tl}$ là độ dốc thủy lực. Tại mặt cắt n-n J_{tl} có thể xác định theo công thức Sêdi :

$J_{tl} = \dfrac{\alpha v^2}{C^2 R}$ với giả thiết là tại một mặt cắt đã định tổn thất thủy lực của dòng không đều được xem như bằng tổn thất thủy lực của dòng chảy đều.

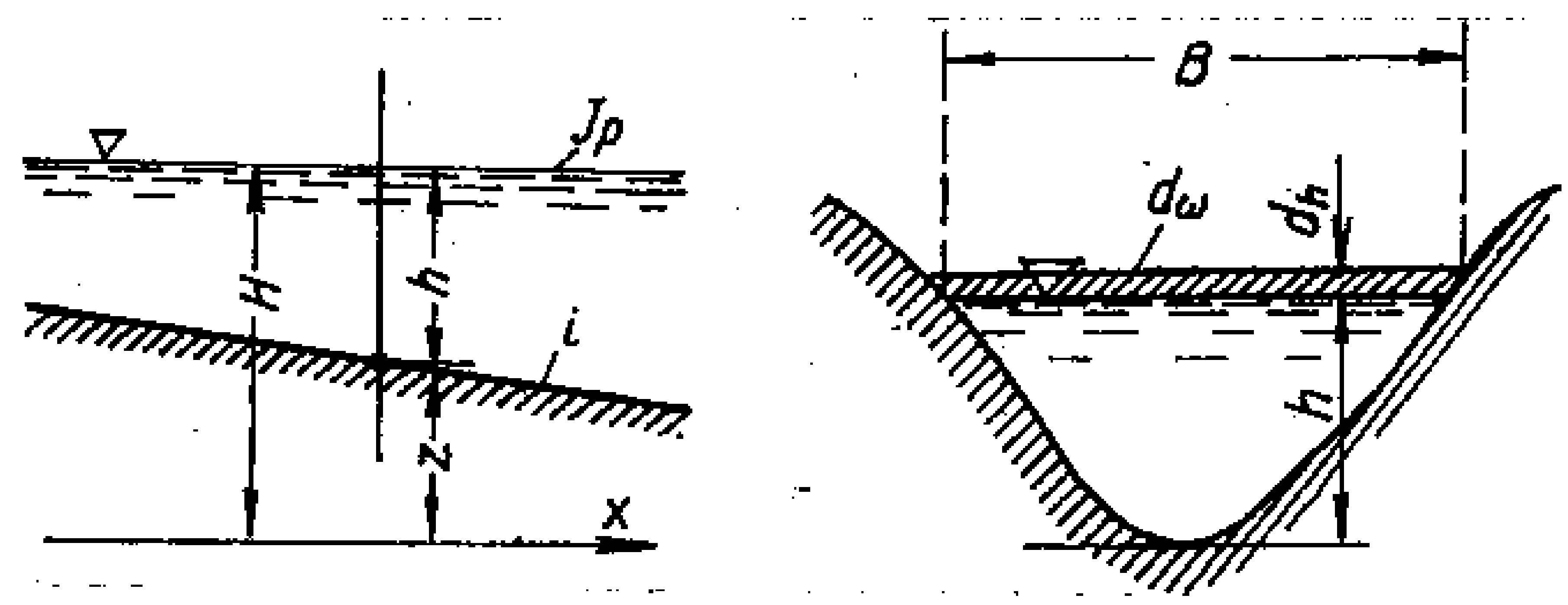
Thay vào (2) ta được :

$$J_p = \frac{d}{ds}\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + \frac{\alpha v^2}{C^2 R} \tag{3}$$

Đây là dạng thứ nhất phương trình cơ bản của chuyển động không đều.

Chú ý ở đây các đại lượng v,C,R tương ứng với chiều sâu thực h chứ không phải ứng với chiều sâu chảy đều h_o.

2. Phương trình thứ hai



Biến đổi vế phải của phương trình (3)

Theo hình vẽ : H = z + h.

Lấy vi phân : dH = dz + dh và chia cho ds, ta được :

$$-\frac{dH}{ds} = -\frac{dz}{ds} - \frac{dh}{ds}.$$

Thay :

$$-\frac{dH}{ds} = J_p \text{ và } -\frac{dz}{ds} = i$$

nên vế trái của (3) ta được :

$$J = i - \frac{dh}{ds} \quad (\text{xem } J_p = J \text{ - độ dốc mặt thoáng}) \tag{4}$$

Biến đổi vế phải của (3) lần lượt từng số hạng

+ Số hạng thứ nhất :

$$\frac{d}{ds}\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) = \frac{d}{ds}\left(\frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2}\right) = \frac{\alpha Q^2}{2g}\frac{d}{ds}\left(\frac{1}{\omega^2}\right).$$

Đối với lòng dẫn cứng (không biến dạng) phương trình tổng quát là :

$$\omega = f(h,s)$$

nên vi phân toàn phần của ω là :

$$d\omega = \frac{\partial \omega}{\partial s} ds + \frac{\partial \omega}{\partial h} dh$$

mà : $d\left(\frac{1}{\omega^2}\right) = -\frac{2}{\omega^3}\,d\omega = -\frac{2}{\omega^3}\left(\frac{\partial\omega}{\partial s}\,ds + \frac{\partial\omega}{\partial h}\,dh\right).$

Trong trường hợp này $\frac{d}{ds}\left(\frac{1}{\omega^2}\right)$ sẽ bằng :

$$\frac{d}{ds}\left(\frac{1}{\omega^2}\right) = -\frac{2}{\omega^3}\left(\frac{\partial\omega}{\partial s} + \frac{\partial\omega}{\partial h}\,\frac{dh}{ds}\right)$$

Theo hình vẽ, đạo hàm :

$$\frac{d\omega}{dh} = B \text{ nên}$$

$$\frac{d}{ds}\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) = -\frac{\alpha Q^2}{g\omega^2}\left(\frac{\partial\omega}{\partial s} + B\,\frac{dh}{ds}\right). \qquad (5)$$

+Số hạng thứ hai của vế phải của (3) được viết lại là :

$$\frac{v^2}{C^2 R} = \frac{\alpha Q^2}{\omega^2 C^2 R} \qquad (6)$$

Thay thế vào (3) ta có :

$$i - \frac{dh}{ds} = -\frac{\alpha Q^2}{g\omega^3}\left(\frac{\partial\omega}{\partial s} + B\,\frac{dh}{ds}\right) + \frac{\alpha Q^2}{\omega^2 C^2 R}$$

và giải với dh/ds ta có :

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i + \dfrac{\alpha Q^2}{g\omega^3}\dfrac{\partial\omega}{\partial s} - \dfrac{\alpha Q^2}{\omega^2 C^2 R}}{1 - \dfrac{\alpha Q^2}{g\omega^3}\,B} \qquad (7)$$

Đây là dạng thứ hai phương trình cơ bản của chuyển động không đều.

Đối với lòng dẫn lăng trụ ω không phụ thuộc vào s, chỉ là hàm số của h.

$$\omega = f(h)$$

còn đạo hàm riêng $\qquad \dfrac{\partial\omega}{\partial s} = 0$

nên phương trình cơ bản (7) sẽ có dạng :

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - \dfrac{\alpha Q^2}{\omega^2 C^2 R}}{1 - \dfrac{\alpha Q^2}{g\omega^3}\,B} \qquad (8)$$

Với i = 0, ta có :

$$\frac{dh}{ds} = \frac{\dfrac{\alpha Q^2}{\omega^2 C^2 R}}{\dfrac{\alpha Q^2}{g\omega^3}\,B - 1} \qquad (9)$$

Khi $i < 0$, ta dùng kí hiệu độ dốc ngược, tức là

$$i = -i' \ (i' > 0), \text{ ta có :}$$

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i' + \dfrac{\alpha Q^2}{\omega^2 C^2 R}}{\dfrac{\alpha Q^2}{g\omega^3} B - 1} \tag{10}$$

Để nghiên cứu và giải được bài toán cơ bản của dòng không đều là vẽ đường mặt nước cho một lòng dẫn cụ thể trong điều kiện bất kì, ta dừng lại ở việc xem xét một số vấn đề phù trợ sau đây.

§IX-3. TỈ NĂNG DÒNG CHẢY, TỈ NĂNG MẶT CẮT VÀ CHIỀU SÂU PHÂN GIỚI

1. Tỉ năng dòng chảy

Tỉ năng dòng chảy là tỉ năng toàn phần, xác định theo phương trình Bécnui đối với mặt chuẩn bất kì. Mặt chuẩn này chung cho tất cả các mặt cắt.

Với mặt cắt 1-1 và 2-2, ta có :

$$E_1 = E_2 + h_w \tag{11}$$

Đại lượng

$$E = z + h + \frac{\alpha v^2}{2g} \tag{12}$$

và được gọi là tỉ năng dòng chảy.

Tỉ năng này luôn luôn giảm dần dọc dòng chảy nên $E_2 < E_1$

2. Tỉ năng mặt cắt.

Tỉ năng mặt cắt cũng xác định theo phương trình Bécnui, chỉ khác với tỉ năng dòng chảy là không lấy với mặt chuẩn xOy mà lấy với mặt 0-0 đi qua điểm thấp nhất của mỗi mặt cắt.

Như vậy thì đi từ mặt cắt này đến mặt cắt kia, mặt chuẩn 0-0 thay đổi vì vị trí mặt cắt đã thay đổi.

Tỉ năng mặt cắt được xác định như sau :

$$Э = h + \frac{\alpha v^2}{2g} \tag{13}$$

Vì thế trong một số trường hợp có thể xảy ra $Э_2 > Э_1$.

Vậy tỉ năng mặt cắt có thể giảm hoặc có thể tăng dọc theo dòng chảy.

Trong chuyển động đều, tỉ năng mặt cắt không đổi dọc theo dòng chảy vì $h_1 = h_2$ và $v_1 = v_2$.

Với Q cho trước, đại lượng Э là hàm số của chiều sâu h, tức là :

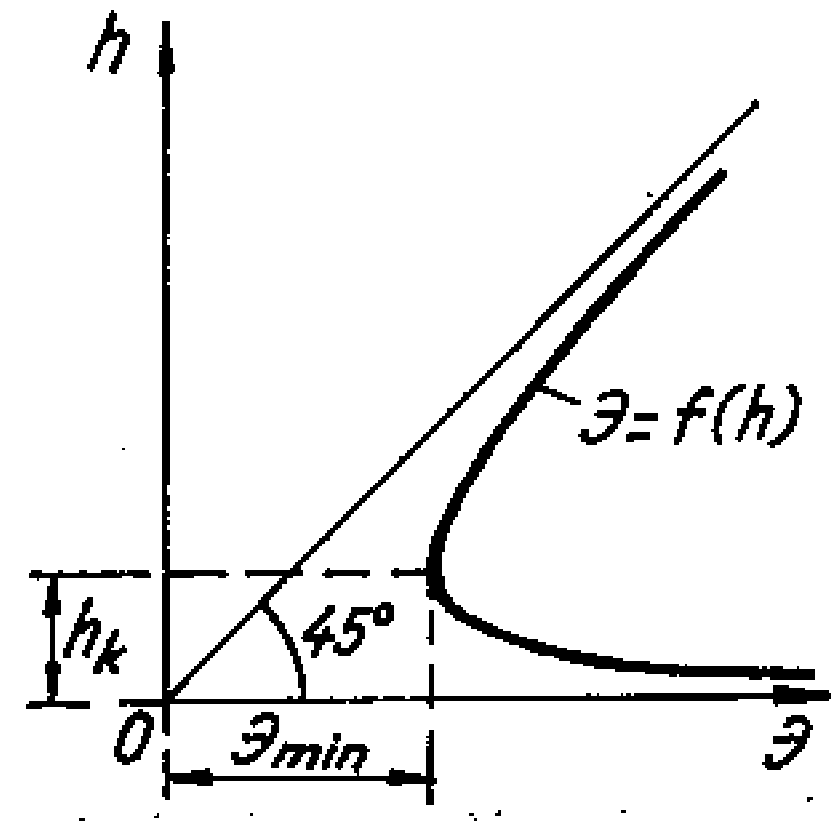
$$Э = h + \frac{\alpha v^2}{2g} = h + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2} = f(h) \qquad (14)$$

Hàm số này luôn luôn dương Э > 0.

Ta tiến hành phân tích hàm số Э = f(h) :

+Nếu h → 0 thì $(\alpha Q^2/g\omega^2) \to \infty$ và do đó Э → ∞ ;

+Nếu h → ∞ thì $\omega \to \infty$ và $(\alpha Q^2/g\omega^2) \to 0$, nên Э → ∞



Vậy khi h → 0, đường cong Э (h) tiệm cận với trục hoành, còn khi h → ∞, đường cong Э(h) tiệm cận với đường phân giác.

Thực vậy khi h → ∞, $\omega \to \infty$ và $(\alpha Q^2/2g\omega^2) \to 0$ thì phương trình $h + (\alpha Q^2/2g\omega^2) = Э$ sẽ trở thành h = Э. Đó chính là đường phân giác.

Do đó hàm số Э(h) biến đổi từ +∞ đến +∞ đi qua điểm uốn. Phương trình đó có điểm cực tiểu ứng với $Э_{min}$.

3. Chiều sâu phân giới

Chiều sâu mà ứng với nó hàm số Э(h) có trị số bé nhất được gọi là chiều sâu phân giới và kí hiệu là h_k. Để tìm h_k ta lập phương trình :

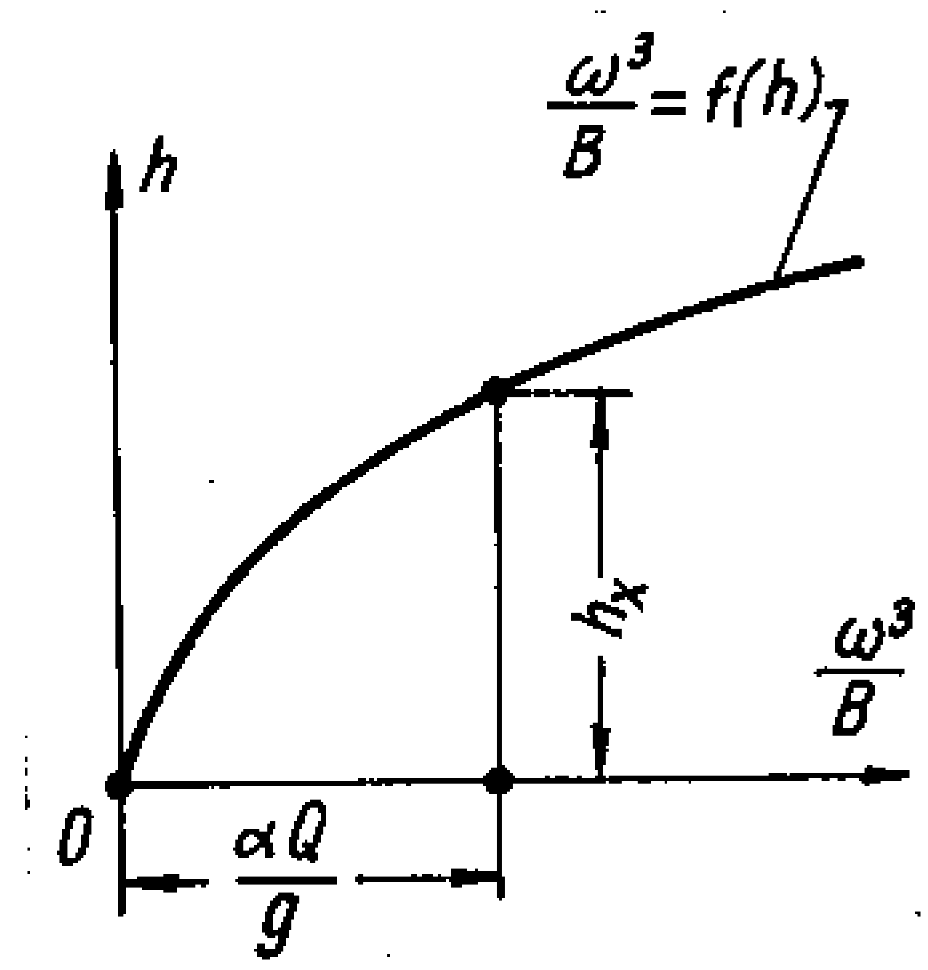
$$\frac{dЭ}{dh} = 0, \qquad (15)$$

lúc đó :

$$\frac{dЭ}{dh} = \frac{d}{dh}\left(h + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2}\right) = 1 - \frac{\alpha Q^2}{g\omega^3}\frac{d\omega}{dh} = 0$$

Nhưng $d\omega/dh = B$, vì thế : $1 - \frac{\alpha Q^2}{g\omega^3}B = 0$;

hoặc $$\frac{\omega^3}{B} = \frac{\alpha Q^2}{g} \qquad (16)$$



Thông thường phương trình (16) được giải bằng cách xây dựng đồ thị $(\omega^3/B) = f(h)$.

Đối với lòng dẫn chữ nhật khi $\omega = bh_k$, chiều sâu phân giới h_k có thể tính trực tiếp.

Thay (16) với $\omega = bh_k$, ta có :

$$\frac{b^3h_k^3}{B} = \frac{\alpha Q^2}{g}, \qquad (17)$$

do đó ta tính được h_k trực tiếp từ công thức :

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g B^2}} \qquad \text{hoặc } h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} \tag{18}$$

ở đây q = Q/B - tỉ lưu lượng.

4. Hai trạng thái chảy

Chiều sâu phân giới chia dòng chảy ra làm hai miền :

+ Nếu dòng chảy có chiều sâu lớn hơn chiều sâu phân giới h_k ($h > h_k$) thế năng h sẽ lớn, còn động năng $\alpha v^2/2g$ nhỏ. Dòng chảy đó được gọi là dòng chảy êm.

+ Nếu dòng chảy có chiều sâu nhỏ hơn chiều sâu phân giới h_k ($h < h_k$), thế năng h sẽ nhỏ, còn động năng $\alpha v^2/2g$ lớn. Dòng chảy đó được gọi là dòng chảy xiết.

5. Số fronde

Từ
$$1 - \frac{\alpha Q^2}{g\omega^3}B = 0$$

Ta viết :
$$\frac{\alpha \omega^2 v^2}{g\omega^3} B = 1 - \frac{\alpha v^2}{g h_{tb}} = 0$$

Ta đặt :
$$\frac{\alpha v^2}{g h_{tb}} = Fr \text{ nên } 1 - Fr = 0 \tag{19}$$

Vậy Fr chính là số Fronde, đại lượng không thứ nguyên là tỉ số giữa động năng và thế năng.

Phương trình (19) cũng nhận được từ (15), tức là ứng với tỉ năng mặt cắt là nhỏ nhất hoặc là khi chiều sâu dòng chảy là chiều sâu phân giới.

Vì vậy khi Fr = 1 thì $h = h_k$.

Từ (19) ta cũng được khi $h > h_k$ thì $Fr < 1$, tức là trạng thái dòng chảy lúc đó là chảy êm :

Khi $h < h_k$ thì $Fr > 1$, tức là trạng thái dòng chảy lúc đó là chảy xiết.

6. Tiêu chuẩn phân biệt hai trạng thái chảy

Từ khái niệm về chiều sâu phân giới và số Fronde ta có tiêu chuẩn để phân biệt hai trạng thái chảy như sau :

+ Dòng chảy êm khi có $h > h_k$ và số $Fr < 1$.

+ Dòng chảy xiết khi có $h < h_k$ và số $Fr > 1$.

Vậy tiêu chuẩn để phân biệt hai trạng thái chảy chính là chiều sâu phân giới h_k và số Fronde Fr.

7. Độ dốc phân giới.

Độ dốc phân giới là độ dốc mà với nó ta có chuyển động đều với lưu lượng đã cho ở độ sâu phân giới.

Ta kí hiệu qua chữ "k" cho các đại lượng ω_k, C_k, R_k thì i_k được xác định trực tiếp từ phương trình Sêdi :

$$i_k = \frac{\alpha Q^2}{\omega_k^2 C_k^2 R_k^2} \tag{20}$$

Cũng có thể viết các biểu thức khác với h_k :

$$\frac{\omega_k^3}{B} = \frac{\alpha Q^2}{g} = \frac{\alpha \omega_k^2 C_k^2 R_k i_k}{g}$$

do đó ta có :

$$i_k = \frac{g}{\alpha C_k^2} \frac{\chi_k}{B} \tag{21}$$

Với kênh rất rộng khi $B = \chi_k$, ta có :

$$i_k = \frac{g}{\alpha C_k^2} \tag{22}$$

8. Phân loại lòng dẫn

Lòng dẫn có thể chia ra làm hai loại :

+ Theo trị số độ dốc i, có thể có $i \gtrless 0$.

+ Theo hình dạng mặt cắt ngang :

a. Lòng dẫn lăng trụ - khi hình dạng mặt cắt ngang giữ nguyên trên cả chiều dài lòng dẫn. Lúc đó $\omega = f(h)$.

b. Lòng dẫn phi lăng trụ - khi hình dạng mặt cắt ngang thay đổi dọc dòng chảy. Lúc đó $\omega = f(h,s)$.

Hàm số $h = f(s)$ phụ thuộc nhiều vào độ dốc cũng như vào tính chất thay đổi hình dạng lòng dẫn.

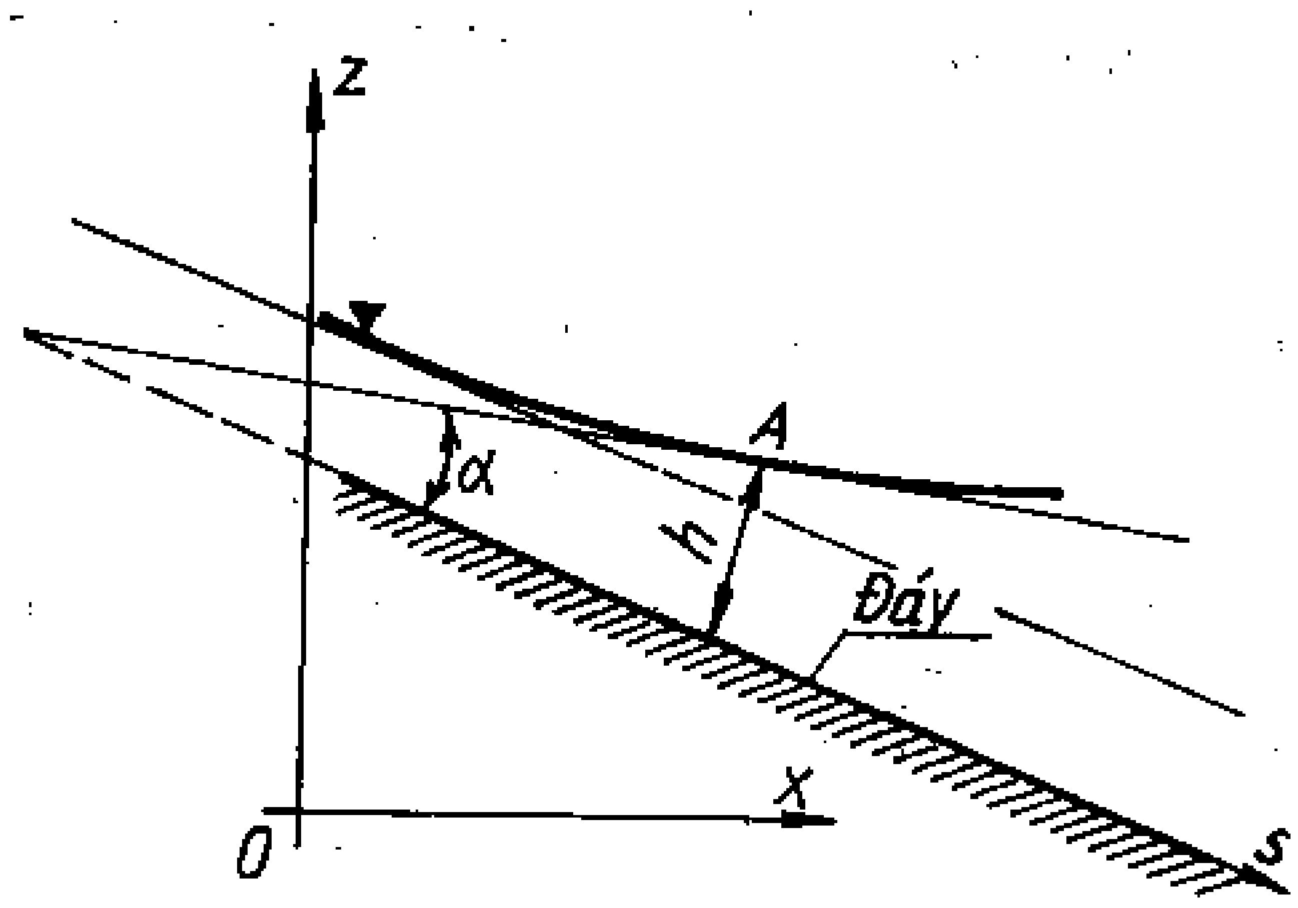
Đối với sông thiên nhiên thì hàm số đó cực kì phức tạp.

§IX-4. PHÂN TÍCH PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CƠ BẢN CỦA CHUYỂN ĐỘNG KHÔNG ĐỀU

Ta chỉ xét dòng không đều trong lòng dẫn lăng trụ.

Phương trình không đều thay đổi dần được viết dưới dạng :

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - \dfrac{\alpha Q^2}{\omega^2 C^2 R}}{1 - \dfrac{\alpha Q^2}{g \omega^3} B} \tag{23}$$



(23) biểu thị sự thay đổi chiều sâu dọc dòng chảy dưới dạng vi phân.

Phân tích phương trình này là đi đến việc xác định dạng đường mặt nước trong các điều kiện chuyển động không đều.

Ở đây cần lưu ý là vi phân dh/ds là tang của góc α giữa đường tiếp tuyến với đường mặt nước và đáy lòng dẫn.

Nếu dh/ds >0, h tăng dần dọc dòng chảy ;

Nếu dh/ds <0, h giảm dần dọc dòng chảy.

Như vậy phân tích (23) bằng cách xác định dấu (+, -) của vi phân (dh/ds) trong các điều kiện khác nhau.

Để tiến hành phân tích (23), trước hết ta biến đổi phương trình đó lần lượt từ tử số đến mẫu số.

Lưu lượng Q luôn luôn có thể biểu thị bằng phương trình $Q = \omega C \sqrt{Ri}$.

Với độ dốc i đã cho, ta cũng có thể tạo ra một dòng chảy đều với độ sâu là h_o và các đại lượng ω_o, C_o, R_o để có được biểu thức :

$$Q = \omega_o C_o \sqrt{R_o i}.$$

Tử số của (23) :

$$i - \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} = i\left(1 - \frac{\omega_o^2 C_o^2 R_o}{\omega^2 C^2 R}\right)$$

Ta kí hiệu :

$\omega C\sqrt{R} = K$, trong đó K - đặc trưng lưu lượng, nên tử số của (23) sẽ là :

$$i\left(1 - \frac{K_o^2}{K^2}\right)$$

Mẫu số của (23) được biến đổi thành :

1 = Fr /theo công thức (19)

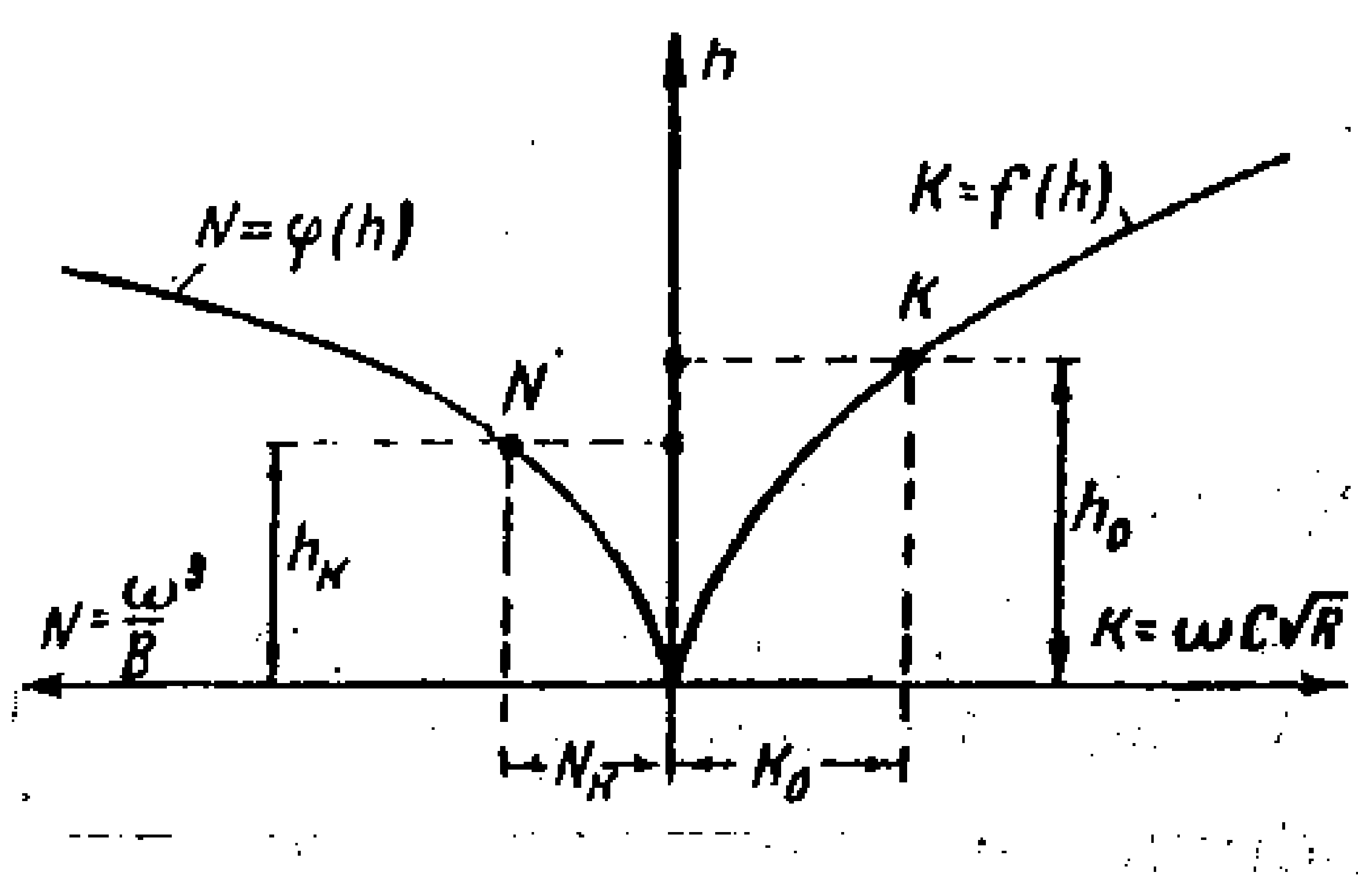
Do đó theo Agrôtxkin ta được :

$$\frac{dh}{ds} = \frac{1 - \left(\frac{K_o}{K}\right)^2}{1 - Fr} \tag{24}$$

Cũng có thể biến đổi (23) theo cách khác. Jurin đề nghị kí hiệu :

$$\frac{\alpha Q^2}{g\omega^3} B = \frac{\alpha Q^2}{g} \frac{1}{\frac{\omega^3}{B}} = \frac{N_k}{N}$$

và gọi $N = \dfrac{\omega^3}{B}$ là số kiểm tra, còn số $N_k = \dfrac{\alpha Q^3}{g}$ là trị số phân giới của số kiểm tra. Từ đó (23) có dạng :



$$\frac{dh}{ds} = i\frac{1 - \left(\frac{K_o}{K}\right)^2}{1 - \frac{N_k}{N}} \qquad (25)$$

Phương trình (25) rất tiện lợi trong tính toán. Để hình dung được dễ dàng mối quan hệ giữa hai hàm số :

$$N = f_1(h) \text{ và } K = f_2(h).$$

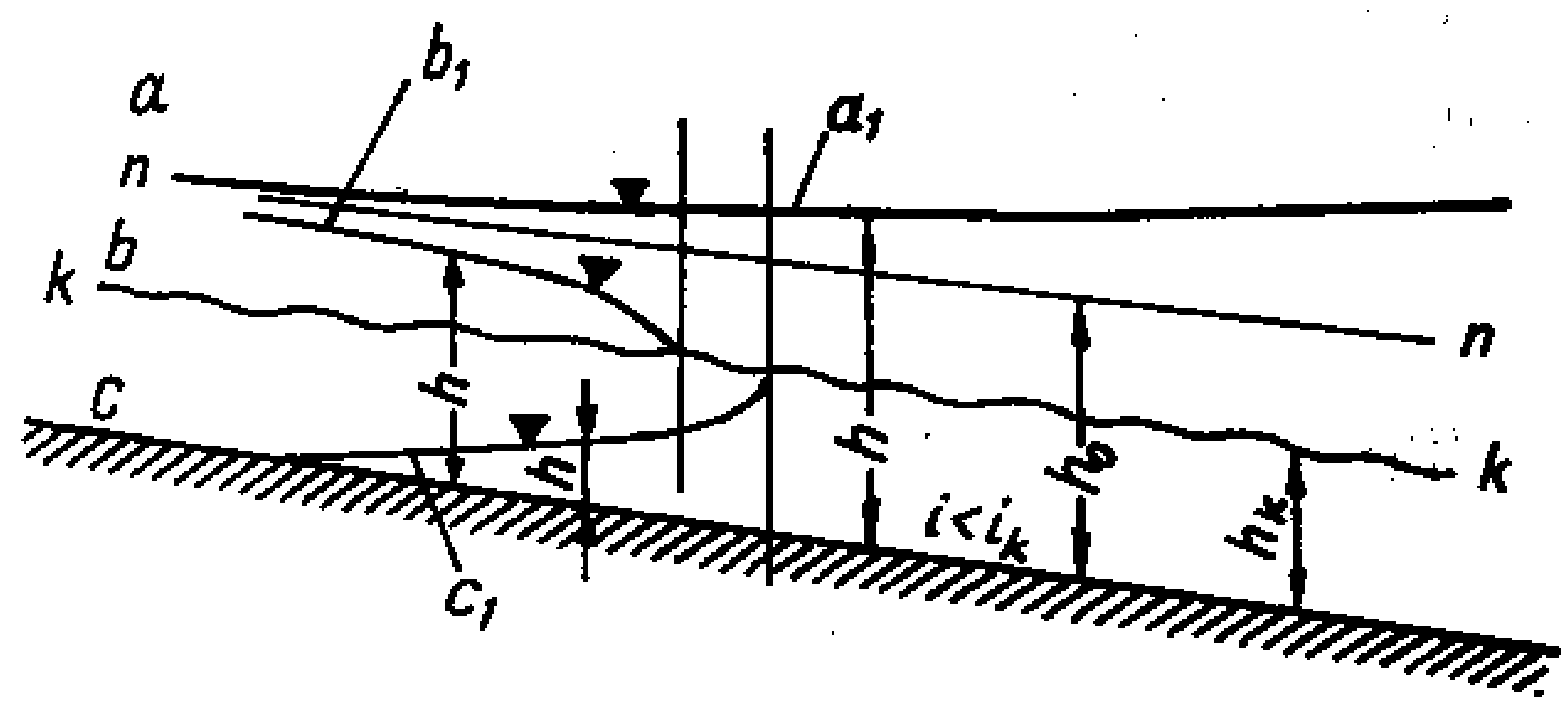
ta vẽ đồ thị của các hàm số đó theo h.

Dùng phương trình (25) ta có thể đi đến phân tích các dạng đường mặt nước.

a. Phân tích các dạng đường mặt nước

I. Lòng dẫn có độ dốc dương $i > 0$

Ở đây sẽ có 3 trường hợp :



1. Khi $i < i_k$, chiều sâu h_o sẽ lớn hơn h_k.

Đường n - n và đường k-k chia mặt cắt dọc lòng dẫn thành 3 khu vực :

+ Khu vực a.

Ta có $h > h_o$ từ đó $K > K_o$ và $N > N_k$.

Theo (23) thì

$$K > K_o \text{ nên } 1 - \left(\frac{K_o}{K}\right)^2 > 0,$$

$$N > N_k \text{ nên } 1 - \left(\frac{N_k}{N}\right) > 0.$$

Vì thế tử số và mẫu số của (23) sẽ mang dấu + nên :

$$\frac{dh}{ds} = \frac{+}{+} > 0.$$

Vì vậy khi $ds > 0$ thì $dh > 0$, tức là chiều sâu tăng dần dọc dòng chảy và đường mặt nước sẽ là đường nước dâng (a_I).

Ta xét các điều kiện giới hạn. Dọc dòng chảy chiều sâu h tăng và tiến đến ∞, tức là $K \to \infty$ và $N \to \infty$, ta có :

$$\frac{dh}{ds} = i\frac{1 - \left(\frac{K_o}{K}\right)^2}{1 - \frac{N_k}{N}} \to i\ ,$$

hoặc là $dh = i.ds$.

Biểu thức này chứng tỏ đường mặt nước tiến đến đường nằm ngang vì khi chiều sâu tăng một lượng là dh thì lòng dẫn hạ thấp một trị số là $dz \doteq ids$, tức là đường mặt nước có xu thế tiến đến đường nằm ngang.

Ngược theo chiều chảy, chiều sâu giảm dần, tuy vẫn ở khu vực a và trở nên bằng h_o. Nhưng lúc đó $K \to K_o$, còn $N \to N_o$. Do đó :

$$\lim\left(\frac{dh}{ds}\right)_{h\to h_o} = i\,\frac{1-\left(\frac{K_o}{K}\right)^2}{1-\frac{N_k}{N}} = i\,\frac{0}{+} = 0$$

Nếu $\quad \frac{dh}{ds} \to 0$ thì $ds >>> dh$.

Nói cách khác, ngược chiều chảy, đường mặt nước tiệm cận với đường mặt nước của chuyển động đều.

+Khu vực b.

Ta có $h < h_o$ nhưng h lại lớn hơn h_k nên $K < K_o$ và $N_k < N < N_o$, vì thế :

$$\frac{K_o}{K} > 1{,}0 \text{ và } \frac{N_k}{N} < 1{,}0,$$

ta sẽ có :

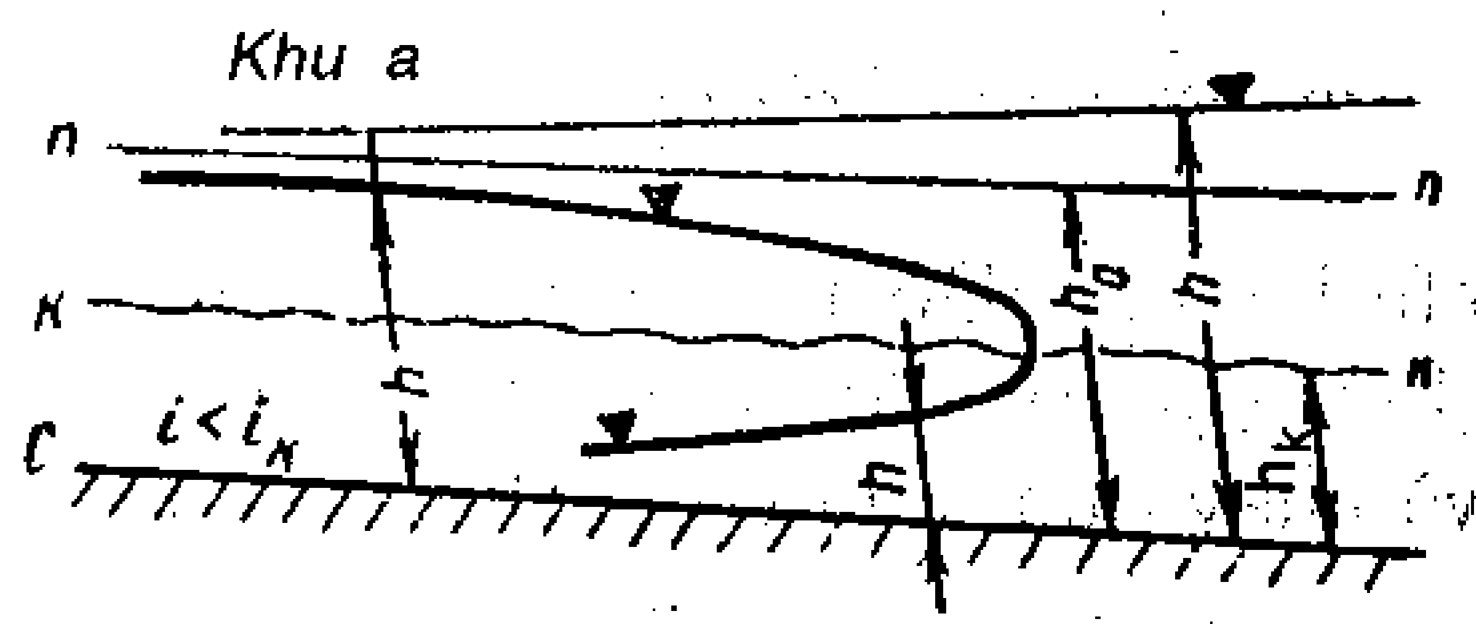
$$\frac{dh}{ds} = i\,\frac{-}{+} < 0.$$

Ở khu b, chiều sâu h giảm dần dọc dòng chảy và tăng dần ngược chiều chảy. Đó chính là đường nước hạ (b_I).

Dọc dòng chảy khi chiều sâu h từ lớn hơn h_k giảm dần đến h_k thì :

$$K \to K_k < K_o \text{ và } \frac{K_o}{K_k} \to \frac{K_o}{K_k} > 1{,}0$$

$$N \to N_k \text{ và } \frac{N_k}{N} \to 1{,}0.$$



Ta sẽ có :

$$\frac{dh}{ds} = \frac{1-\left(\frac{K_o}{K}\right)^2}{1-\frac{N_k}{N}} = i\,\frac{-}{0} \to \infty.$$

Tức là cứ một thay đổi nhỏ của ds ta sẽ có độ giảm dh rất lớn (hoặc $tg\alpha \to \infty$). Đường tiếp tuyến của đường mặt nước là đường thẳng đứng.

Ngược chiều chảy, chiều sâu tăng và tiến đến h_o, lúc đó $K \to K_o$, $N \to N_o > N_k$. Vì thế :

$$\frac{dh}{ds} = i\,\frac{1-\left(\frac{K_o}{K}\right)^2}{1-\frac{N_k}{N}} = i\,\frac{0}{+} \to 0.$$

và đường nước hạ tiệm cận với đường mặt nước có chiều sâu chảy đều.

+ Khu vực c.

Trong khu vực này ta có $h < h_k$ nên $K < K_k < K_o$ và $N < N_k$. Tương ứng ta có :

$$\frac{dh}{ds} = i\,\frac{1 - \left(\frac{K_o}{K}\right)^2}{1 - \frac{N_k}{N}} = i\,\frac{-}{-} > 0,$$

tức là chiều sâu tăng dọc dòng chảy và đường mặt nước có dạng đường nước dâng (c_I).

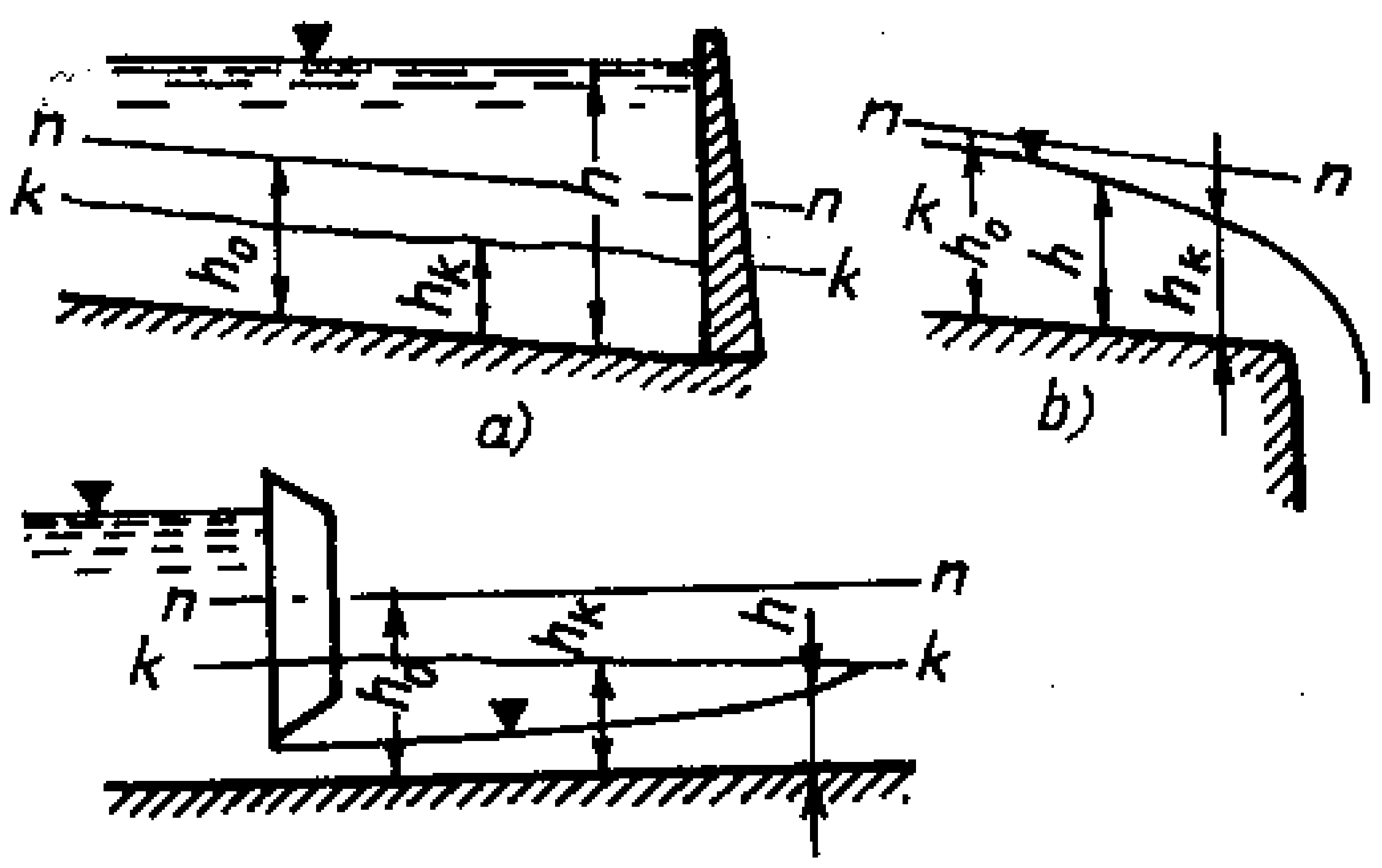
Dọc dòng chảy khi $h \to h_k$, $N \to N_k$ nên :

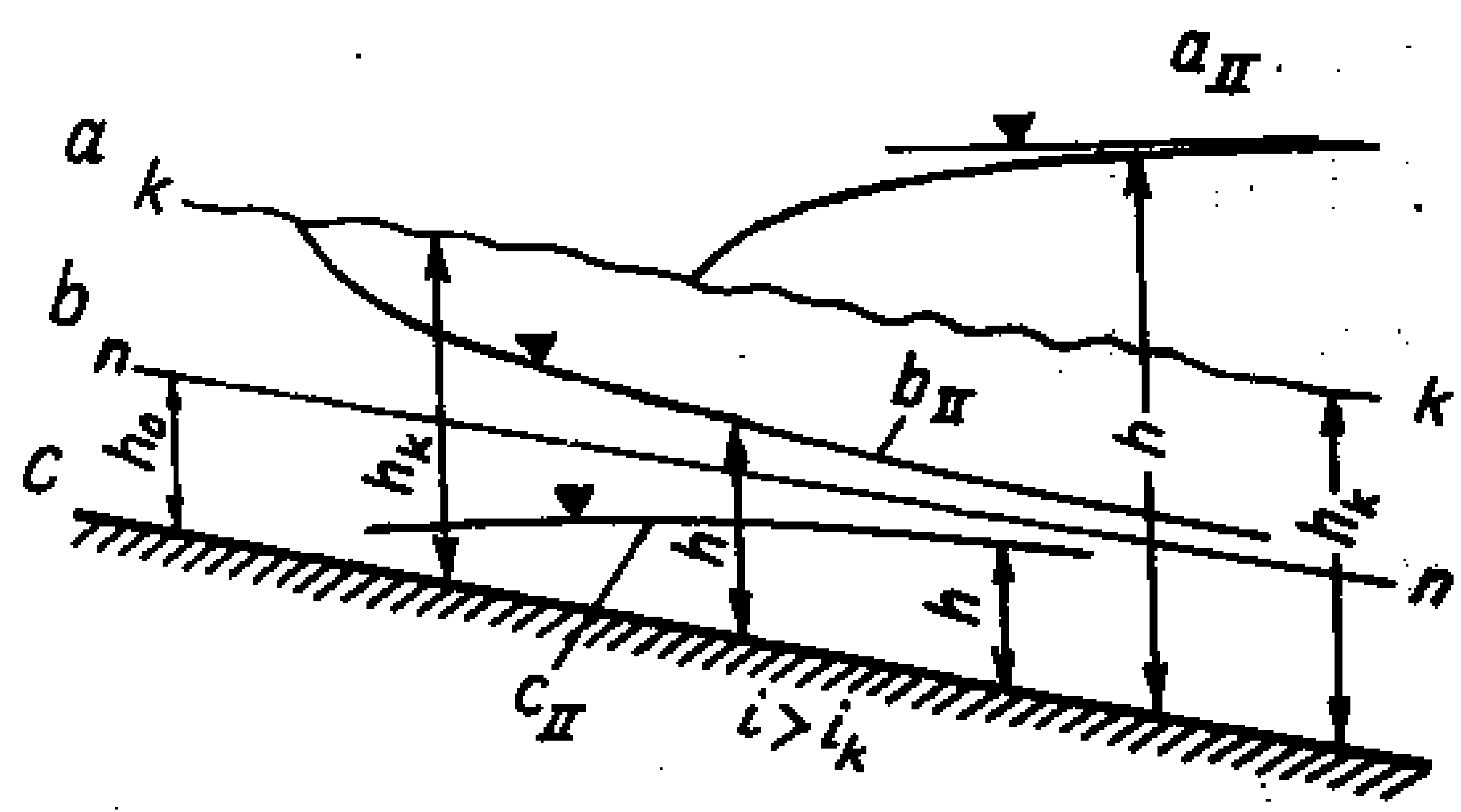
$$\frac{dh}{ds} = i\,\frac{-}{0} = +\infty.$$

Đường mặt nước sẽ đi lên đột ngột và có xu thế tiếp tuyến với đường thẳng đứng. Ngược chiều chảy h tiến đến 0. Đây là điều không có ý nghĩa vật lí (khi h = 0 và Q cũng bằng 0, không có dòng chảy).

Như vậy đối với lòng dẫn có $i < i_k$ có thể có 3 đường mặt nước.

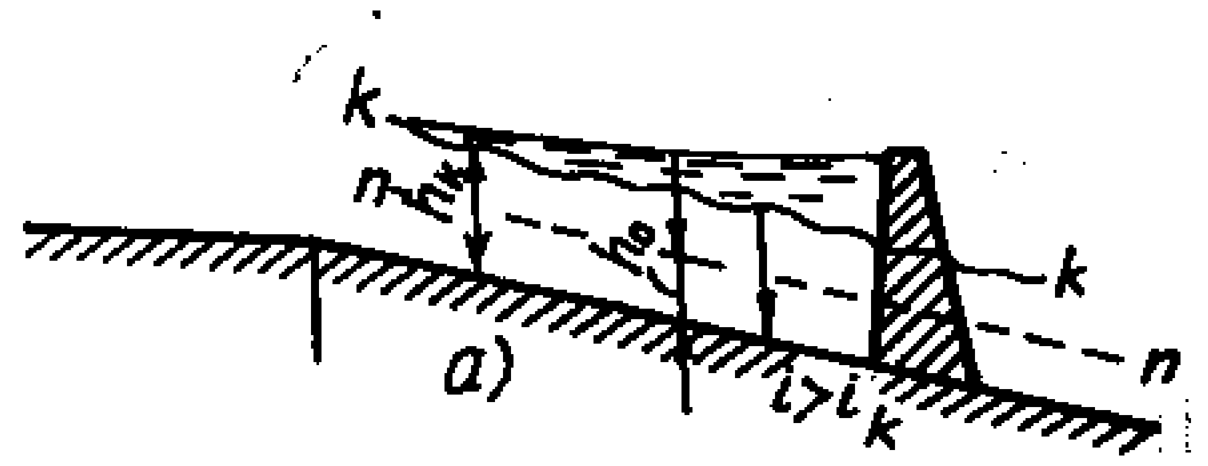
Trên hình vẽ là các ví dụ cụ thể về các dạng đường mặt nước có thể gặp





khi $i < i_k$; Đó là khi có đập chắn (khu vực a), bậc nước (khu vực b) và chảy dưới cửa cống (khu vực c).

2. Khi $i > i_k$, chiều sâu $h_o < h_k$.

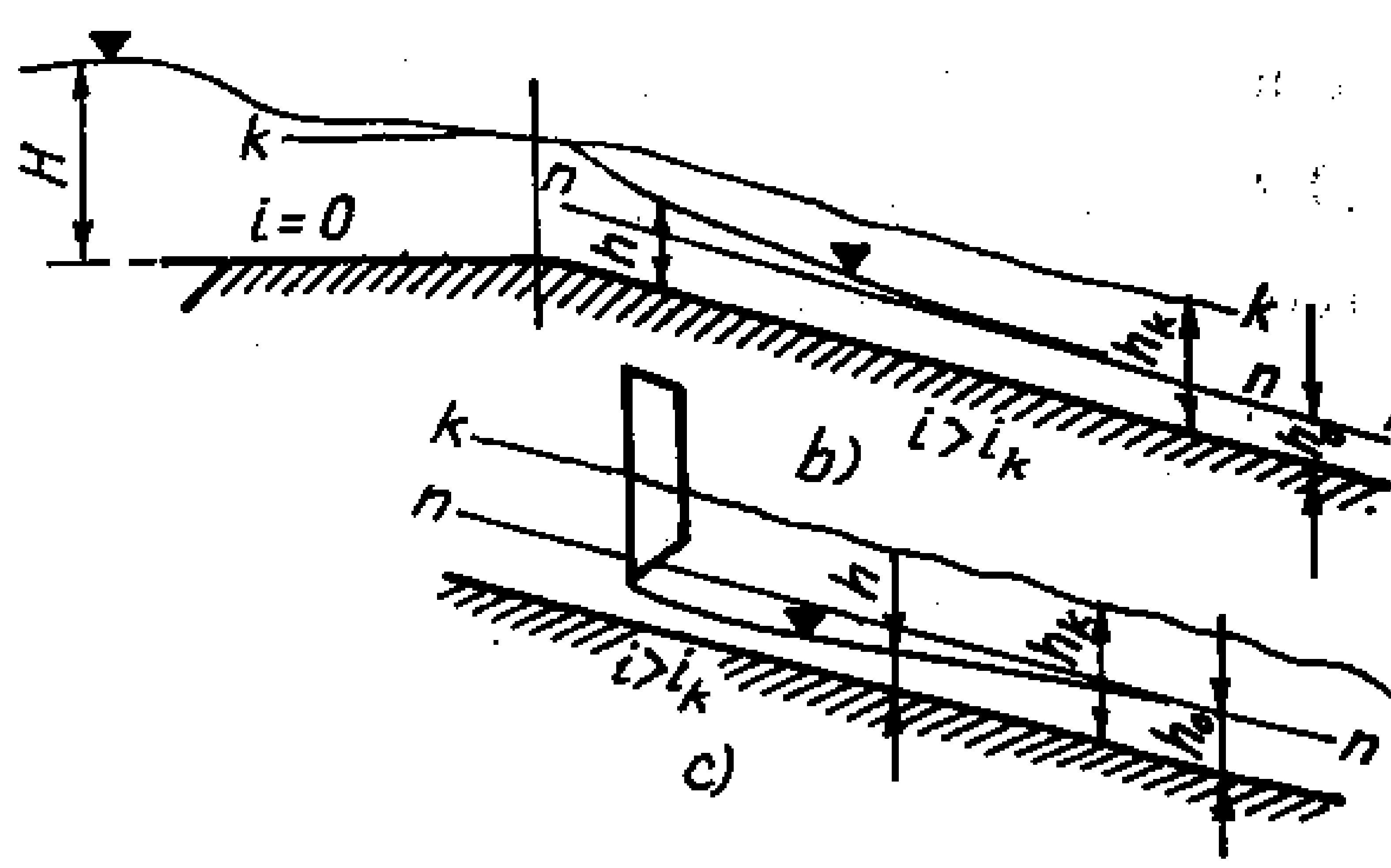


Đường n-n và k-k cũng chia mặt cắt dọc lòng dẫn thành 3 khu vực :

+ Khu vực a - ta có đường nước dâng a_{II} ;

+ Khu vực b - ta có đường nước hạ b_{II} ;

+ Khu vực c - ta có đường nước dâng c_{II}.



Cả 3 đường mặt nước trên đây đều nhận được bằng cách xét đạo

hàm dh/ds như đối với trường hợp $i < i_k$.

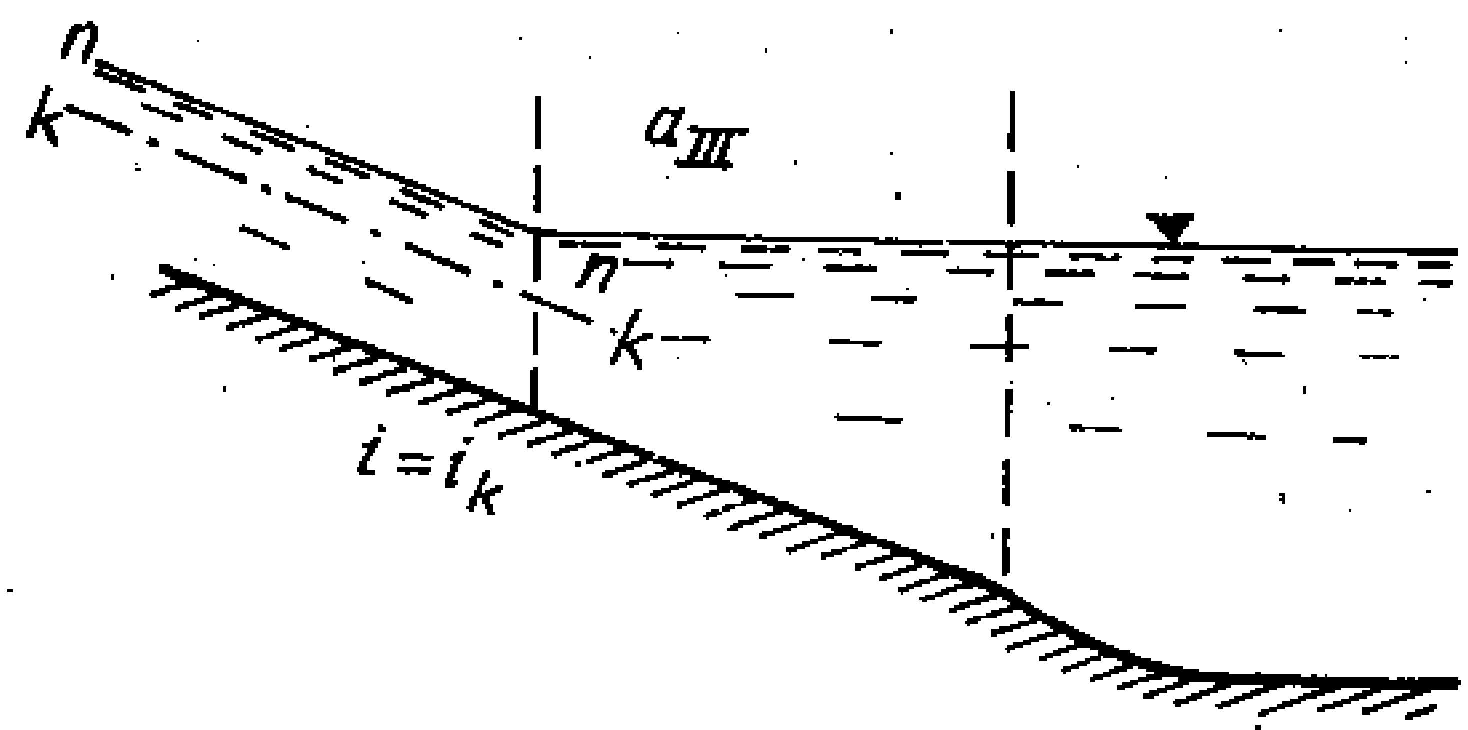
Các ví dụ cụ thể có thể gặp là các đường mặt nước trên thân dốc nước với đập chắn, cửa cống và chảy tự do.

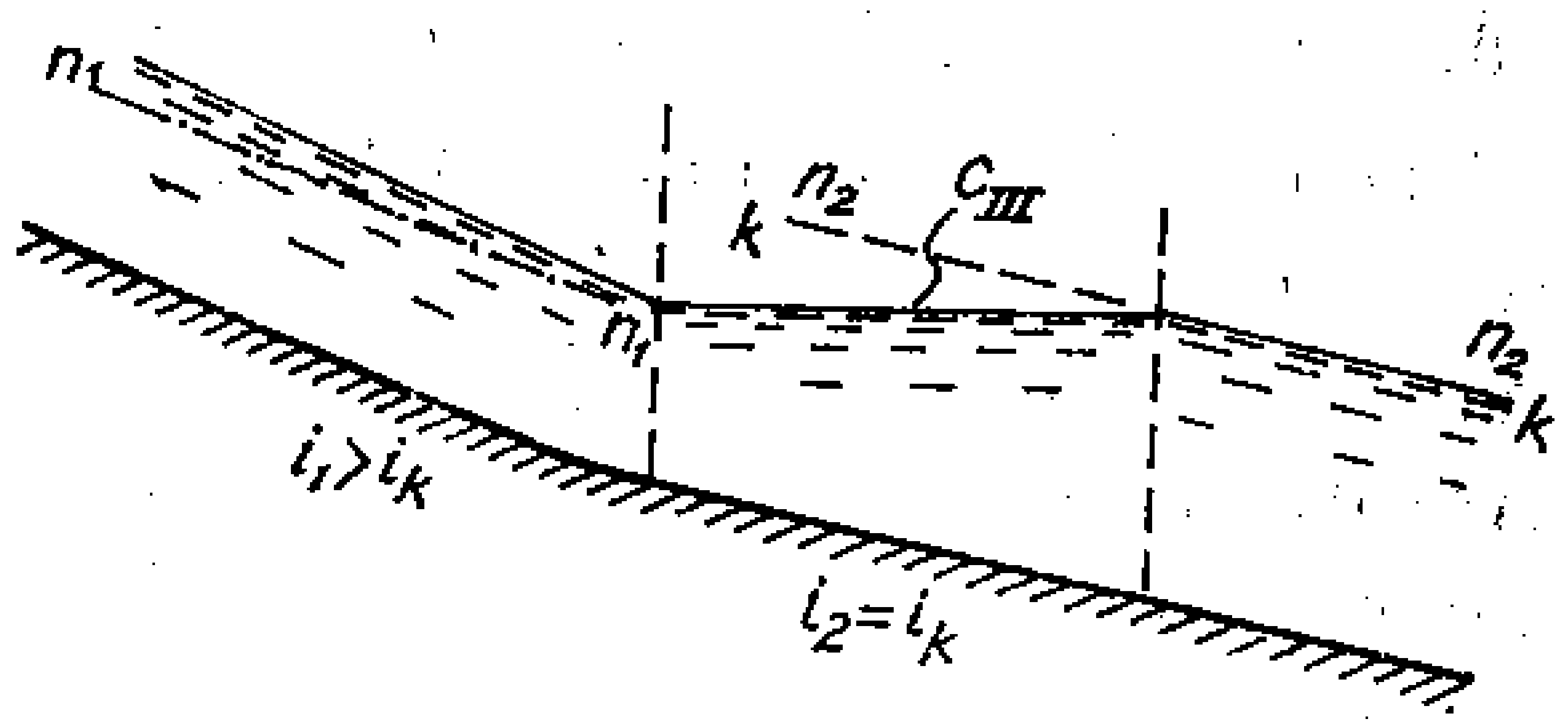
3. Khi $i = i_k$ chiều sâu $h_o = h_k$:

Vì $h_o = h_k$ nên đường n-n trùng với đường k-k và ta chỉ có 2 khu vực a và c. Cũng bằng cách xét đạo hàm dh/ds ta có :

+Khu vực a - đường nước dâng a_{III} ;

+Khu vực c - đường nước dâng c_{III}.





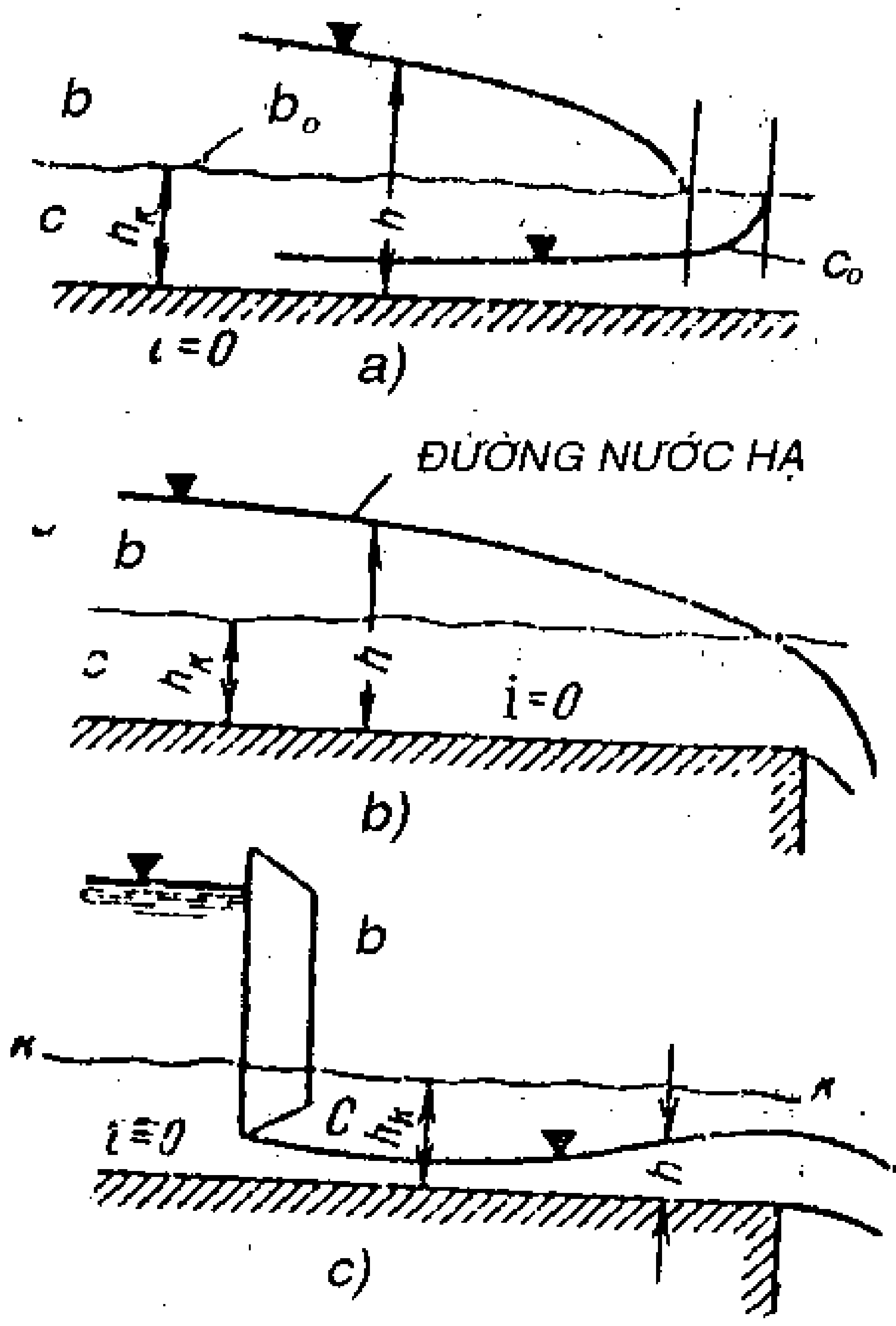
II. Lòng dẫn có độ dốc bằng 0 (i = 0)

Khi độ dốc lòng dẫn bằng không, chuyển động đều không thể xảy ra. Ta đã biết là độ dốc càng nhỏ thì chiều sâu càng lớn, vì thế nếu i = 0 thì $h_o = \infty$.

Do vậy trong trường hợp này ta chỉ có 2 khu vực : b và c.

+Tại khu vực b ta có đường nước hạ b_o ;

+Tại khu vực c ta có đường nước dâng c_o.



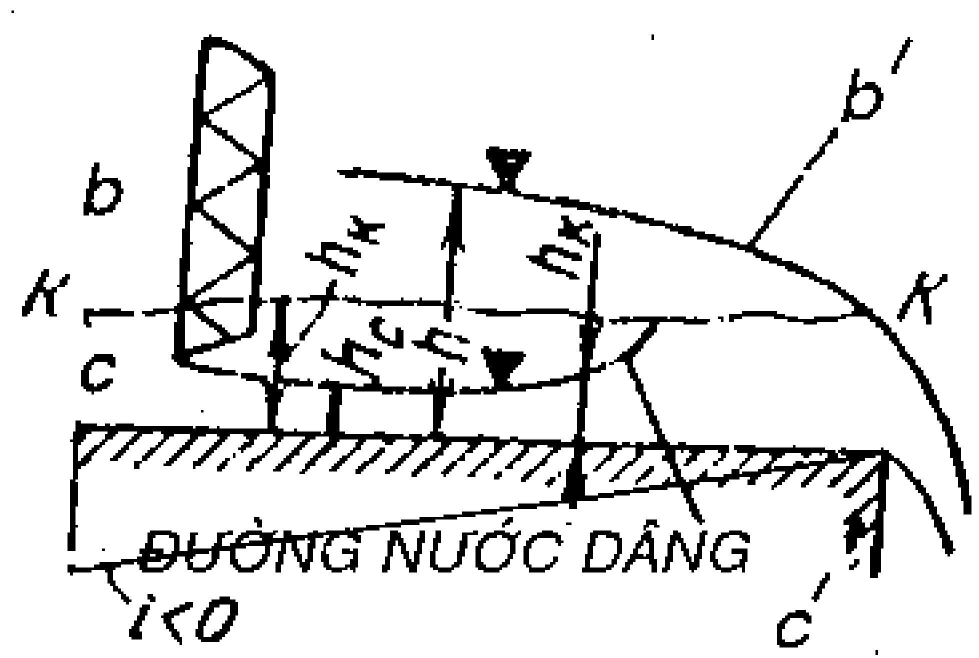
III. Lòng dẫn có dốc đáy âm (i < 0)

Cũng vậy trong trường hợp này ta cũng không có chuyển động đều.

Do vậy ở đây ta chỉ có 2 khu vực :

+Khu vực b ta có đường nước hạ b' ;

+Khu vực c ta có đường nước dâng c'.



PHÒNG ĐỌC
2000 ĐVL 414

b. Tích phân phương trình vi phân cơ bản của chuyển động không đều.

Đối với lòng dẫn lăng trụ $\partial \omega / \partial s = 0$ và

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i - \dfrac{\alpha Q^2}{\omega^2 C^2 R}}{1 - \dfrac{\alpha Q^2}{g \omega^3} B}. \tag{26}$$

Phương trình đó có thể tích phân theo nhiều cách khác nhau. Xa xưa người ta dùng phương pháp Dupuit-Raklman và Bress cho lòng dẫn hình chữ nhật với chiều rộng lớn vô cùng, tức là khi b ⟩⟩ h, phương pháp Tolkmitt - cho lòng dẫn mặt cắt parabôn cũng với b ⟩⟩ h, phương pháp Batikl - cho lòng dẫn bất kì.

Đầu thế kỉ XX giáo sư Bakhmêchép đã đề xuất một phương pháp tích phân tương đối tổng quát, tiện dùng trong tính toán, được dùng rộng rãi và cho đến nay, tuy cũng có thêm một số phương pháp khác mới được đề xuất (Pavlôpxki, Agrôtxkin, Tsetôuxôp v.v...) nhưng phương pháp của Bakhmêchép vẫn là phương pháp phổ biến.

Sau đây là nội dung phương pháp Bakhmêchép.

Ta tích phân cho trường hợp i > 0.

Biến đổi phương trình (23), trước hết là đối với mẫu số :

$$\frac{\alpha Q^2}{g\omega^3} = \frac{\alpha K_o^2 iB}{g\omega^2 \omega} \cdot \frac{C^2}{C^2} \frac{1}{\frac{\chi}{\chi}} = \frac{\alpha C^2 iB}{g\chi} \cdot \frac{K_o^2}{\omega^2 C^2 \frac{\omega}{\chi}} = j \frac{K_o^2}{\omega^2 C^2 R} = j \frac{K_o^2}{K^2}.$$

Pavlốpxki đề nghị :

$$j = \frac{\alpha C^2 iB}{g} \frac{B}{\chi}.$$

Như vậy, ta có :

$$\frac{dh}{ds} = i \frac{1 - \left(\frac{K_o}{K}\right)^2}{1 - j \left(\frac{K_o}{K}\right)^2} = i \frac{\left(\frac{K}{K_o}\right)^2 - 1}{\left(\frac{K}{K_o}\right)^2 - j}$$

Bakhmêchép đã đề nghị một quy luật số mũ sau đây :

$$\left(\frac{K}{K_o}\right)^2 = \left(\frac{h}{h_o}\right)^x,$$

trong đó x được gọi là số mũ thủy lực, ta được :

$$\frac{dh}{ds} = i \frac{\left(\frac{h}{h_o}\right)^x - 1}{\left(\frac{h}{h_o}\right)^x - j}$$

Ta đưa kí hiệu $\eta = h/h_o$ và gọi đó là chiều sâu tương đối của dòng chảy.

Từ đó ta có : $h = h_o\eta$, $dh = h_o d\eta$ và do đó :

$$\frac{h_o d\eta}{ds} = i\,\frac{\eta^x - 1}{\eta^x - j}$$

Tiếp tục biến đổi :

$$\frac{i ds}{h_o} = \frac{\eta^x - j}{\eta^x - 1}\,d\eta = \frac{\eta^x - 1 + 1 - j}{\eta^x - 1}\,d\eta$$

$$= d\eta + (1 - j)\,\frac{d\eta}{\eta^x - 1} = d\eta - (1 - j)\,\frac{d\eta}{1 - \eta^x} \qquad (27)$$

Tích phân (27) ta được :

$$\frac{i(s_2 - s_1)}{h_o} = \frac{il}{h_o} = \eta_2 - \eta_1 - \int (1 - j)\,\frac{d\eta}{1 - \eta^x}$$

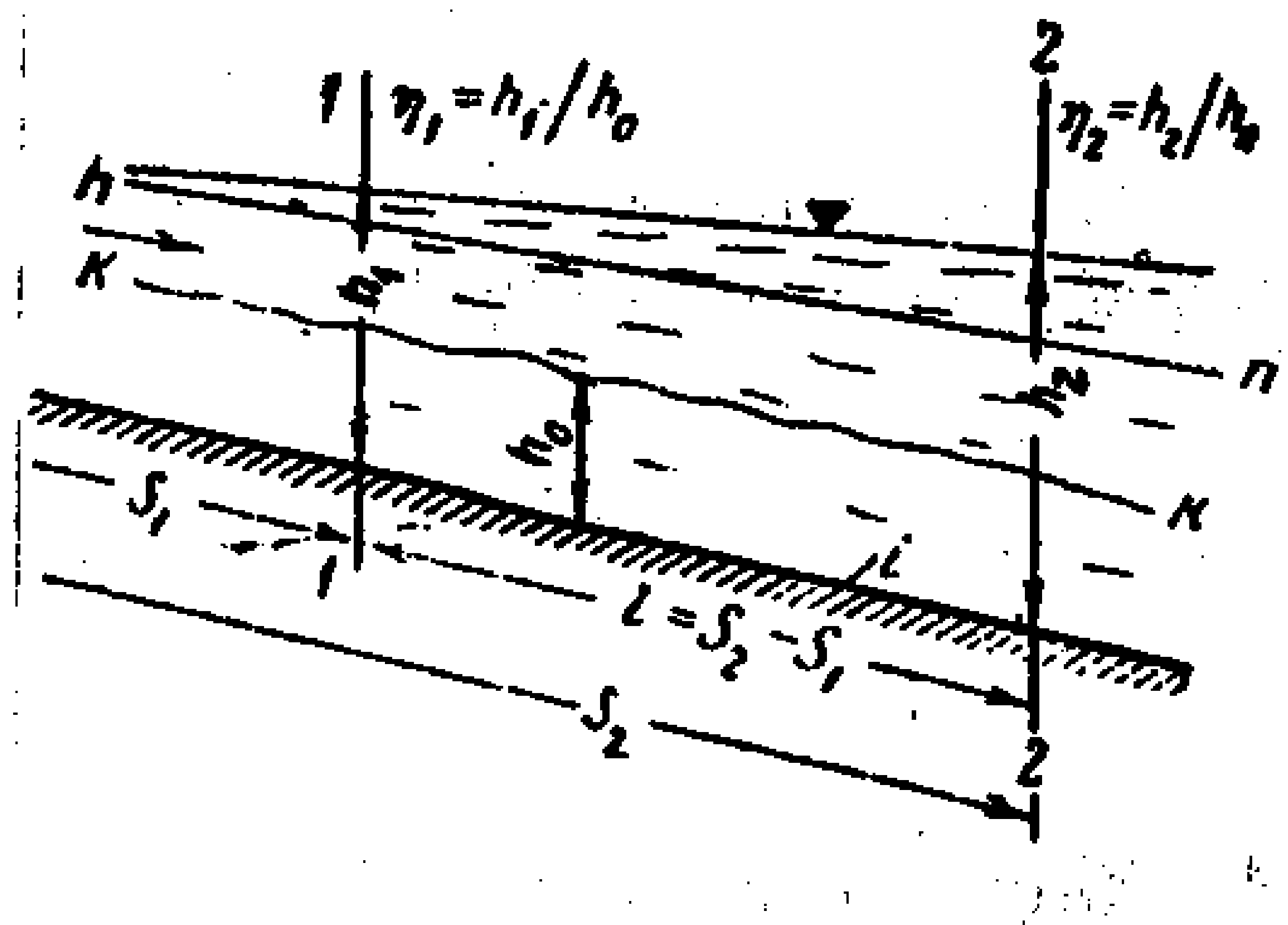
Ở đây j - đại lượng biến đổi và phụ thuộc vào η. Sử dụng lí thuyết về trung bình hóa, có thể viết :

$$\int_{\eta_1}^{\eta_2} (1 - j)\,\frac{d\eta}{1 - \eta^x} = (1 - j_{tb}) \int_{\eta_1}^{\eta_2} \frac{d\eta}{1 - \eta^x} = (1 - j_{tb})\left\{\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)\right\}$$

và ta được :

$$\frac{il}{h_o} = \eta_2 - \eta_1 - (1 - j_{tb})\left\{\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)\right\} \qquad (28)$$

Phương trình (28) là phương trình cơ bản của chuyển động không đều trong lòng dẫn hở lăng trụ.



Ở đây : l- khoảng cách giữa hai tuyến mà tại đó các chiều sâu tương ứng là h_1 và h_2 ;

h_o- chiều sâu của chuyển động đều trong lòng dẫn dưới cùng một lưu lượng ;

η_1 và η_2 - lần lượt là các tỉ số h_1/h_o và h_2/h_o ;

j_{tb} - trị số trung bình của biểu thức : $\dfrac{\alpha C^2 i}{g} \cdot \dfrac{B}{\chi}$

cho lòng dẫn đã định có chiều dài là l ;

$\varphi(\eta_1)$ và $\varphi(\eta_2)$– hàm số , bằng:

$$\varphi(\eta) = \int \frac{d\eta}{1 - \eta^x} + C \text{ khi } \eta = \eta_1 \text{ và } \eta = \eta_2$$

Trị số của hàm số $\varphi(\eta)$ phụ thuộc vào giá trị của số mũ thủy lực x mà cụ thể là từ 2,0 → 5,5.

Khi x = 2 ta có được bảng tích phân cơ bản. Ngoài ra để tính được nhanh người ta cũng đã lập bảng tích phân ứng với các giá trị số mũ thủy lực khác nhau cho lòng dẫn lăng trụ.

§IX-5. HAI BÀI TOÁN CƠ BẢN CỦA PHƯƠNG TRÌNH CỦA CHUYỂN ĐỘNG KHÔNG ĐỀU

Sau khi tích phân ta được :

$$\frac{il}{h_o} = \eta_2 - \eta_1 - (1 - j_{tb})\left\{\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)\right\} \qquad (29)$$

cho phép ta đặt và giải hai bài toán cơ bản sau đây :

1. Bài toán 1 :

Xác định khoảng cách l giữa hai tuyến mà ở đó cho trước h_1 và h_2. Cũng cho trước các đại lượng Q, i, n và h_o.

Giải : Bài toán được giải trực tiếp từ (29) :

$$l = \frac{h_o}{i}\left\{\eta_2 - \eta_1 - (1 - j_{tb})\left[\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)\right]\right\} \qquad (30)$$

Ở đây :

a) h_o và i là các đại lượng biết trước theo đầu bài.

b) Các đại lượng η_2 và η_1 được tính theo công thức :

$$\eta_2 = \frac{h_2}{h_o} \text{ và } \eta_1 = \frac{h_1}{h_o}$$

c) Các hàm số $\varphi(\eta_2)$ và $\varphi(\eta_1)$ được tìm theo bảng, sau khi đã tính sơ bộ trị số của số mũ thủy lực x :

$$x = \frac{2\lg\dfrac{K_1}{K_2}}{\lg\dfrac{h_1}{h_2}}$$

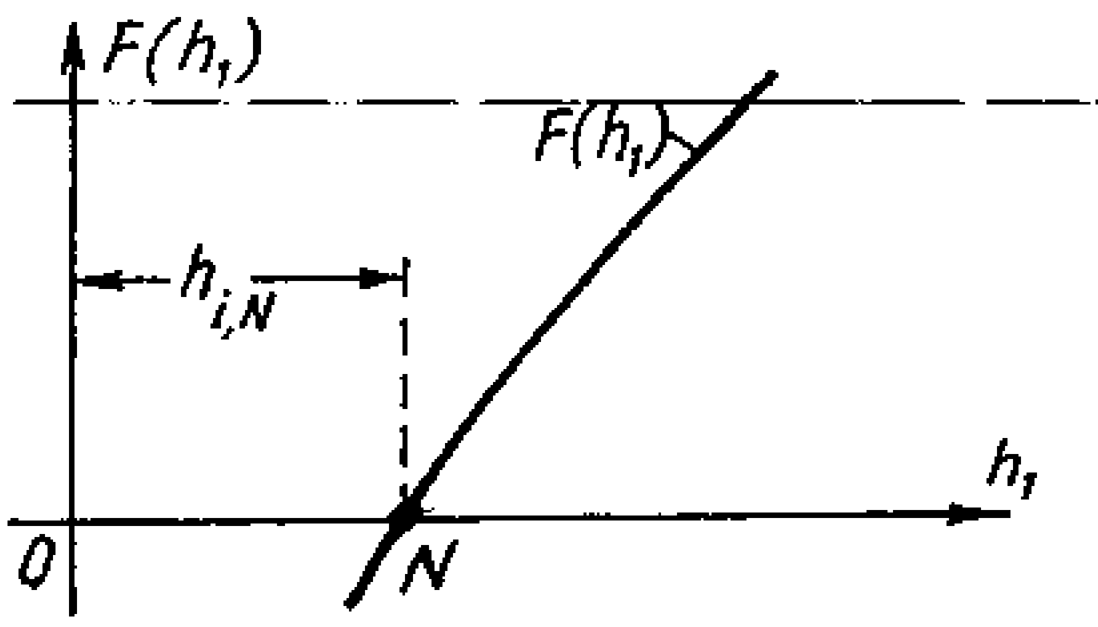
Một khó khăn có thể gặp phải là việc xác định j_{tb}.

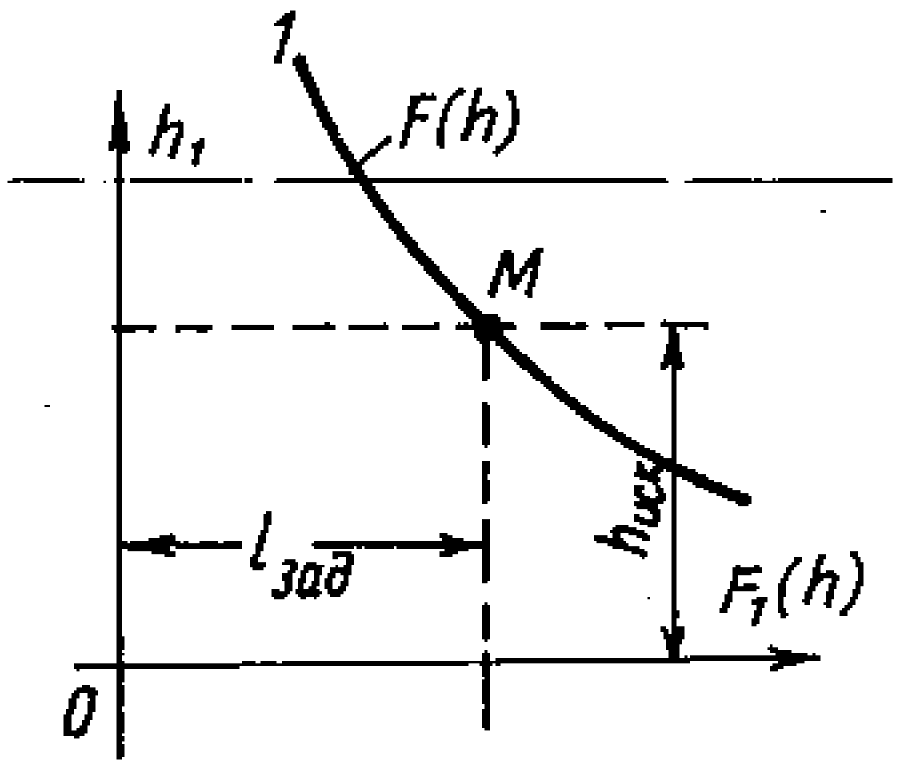
Đại lượng này có thể xác định hoặc là theo cách tính trung bình từ j_1 và j_2 hoặc là từ các trị số trung bình của số hạng trong công thức xác định j_{tb}.

2. Bài toán 2 :

Xác định chiều sâu h_1 tại tuyến 1, nếu cho trước chiều sâu h_2 tại tuyến 2 (hoặc ngược lại), cũng cho trước khoảng cách giữa các tuyến l.

Giải : Bài toán cũng được giải trên cơ sở phương trình (29). Ta rất dễ dàng nhận ra rằng bài toán dẫn đến việc xác định giá trị hàm số η_1 (nếu tìm η_1 thì tìm chiều sâu h_1 từ điều kiện $\eta_1 = h_1/h_o$ và, do đó $h_1 = h_o\eta_1$).





Việc xác định η_1 gặp khó khăn vì nó có liên quan đến việc xác định $\varphi(\eta_1)$, đại lượng j_{tb} lại được xác định chính bằng đại lượng cần tìm h_1. Vì vậy bài toán phải giải bằng thử dần hoặc bằng đồ thị.

Để xây dựng đồ thị ta viết lại phương trình trên dưới dạng :

$$\eta_1 + (1 - j_{tb})\left\{\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)\right\} + \frac{il}{h_o} - \eta_2 = 0 \qquad (31)$$

Rõ ràng là vế trái của (31) là hàm số η_1 (hoặc là hàm số theo h_1) vì :

$$\eta_1 = \frac{h_1}{h_o} \text{ và } \eta_1 + (1 - j_{tb})\left\{\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)\right\} + \frac{il}{h_o} - \eta_2 = F(h_1).$$

Trên đồ thị $F(h_1)$ điểm N ứng với điều kiện $F(h) = 0$ cho ta lời giải - h_1 cần tìm.

Cũng có thể giải bài toán bằng đô thị theo một cách khác : viết lại phương trình dưới dạng

$$l = \frac{h_o}{i}\left\{\eta_2 - \eta_1 \ldots\right\} = F_1(h_1) \qquad (32)$$

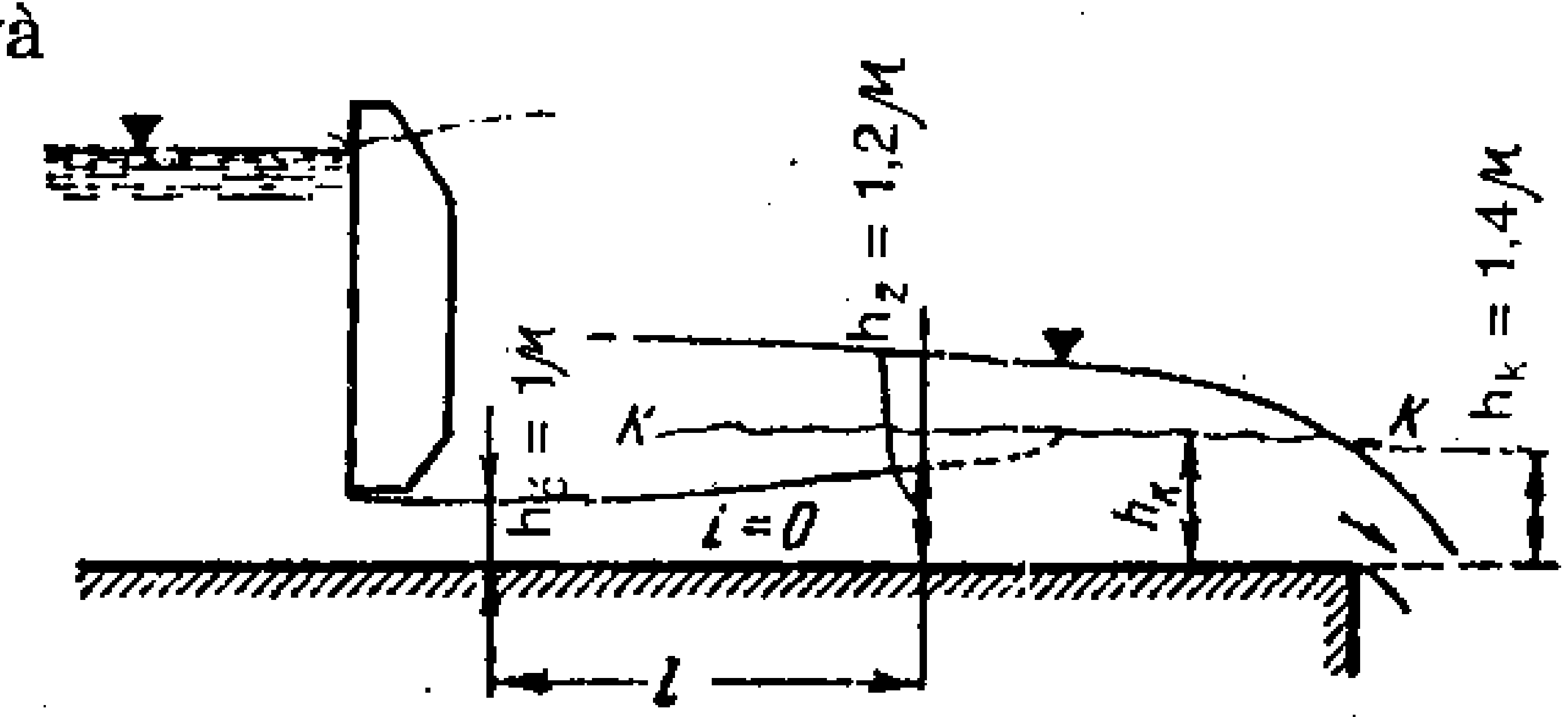
và tính các giá trị $F_1(h_1)$ ứng với các trị số h_1, h_2... và vẽ đồ thị $l = F_1(h_1)$.

Với giá trị l đã cho ta tìm được điểm M, điểm đó cho ta chiều sâu cần tìm h_1.

§IX-6. TÍCH PHÂN KHI i = 0

Ta xuất phát từ phương trình vi phân cơ bản(26)vì $i = 0$, $\omega^2C^2R = K^2$ và $Q^2 = K_k^2 \cdot i_k$, nên :

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i_k\left(\frac{K_k}{K}\right)^2}{\frac{\alpha\, i_k K_k^2}{g\omega^3}B - 1}$$



Biến đổi số hạng thứ nhất vế phải

$$\frac{\alpha\, i_k K_k^2 BC^2}{g\omega^2 \frac{\omega}{\chi} \chi C^2} = \frac{\alpha C^2 i_k}{g} \cdot \frac{B}{\chi} \cdot \frac{K_k^2}{K^2} = j_k \left(\frac{K_k}{K}\right)^2.$$

Chia tử và mẫu số cho $(K_k/K)^2$, ta được :

$$\frac{dh}{ds} = i_k \frac{1}{j_k - \left(\frac{K}{K_k}\right)^2} \tag{33}$$

và sử dụng quy luật số mũ thủy lực : $\left(\frac{K}{K_k}\right)^2 = \left(\frac{h}{h_k}\right)^x$,
thì (33) sẽ được viết dưới dạng :

$$\frac{dh}{ds} = \frac{i_k}{j_k - \left(\frac{h}{h_k}\right)^x} \tag{34}$$

Ta đưa một kí hiệu mới : $\xi = \frac{h}{h_k}$,

ta có : $h = h_k \xi$ và $dh = h_k d\xi$.

Vì vậy phương trình (34) được thay bằng :

$$\frac{h_k d\xi}{ds} = \frac{i_k}{j_k - \xi^x} \text{ hoặc } \frac{i_k}{h_k} = (j_k - \xi^x)\, d\xi \tag{35}$$

Sau khi tích phân ta được :

$$\frac{i_k (s_2 - s_1)}{h_k} = \frac{i_k l}{h_k} = j_k (\xi_2 - \xi_1) - \frac{\xi_2^{x+1} - \xi_1^{x+1}}{x+1} \cdot \tag{36}$$

Trong trường hợp riêng, khi lòng dẫn hình chữ nhật rộng $j_k = 1$, vì thế lấy $x = 3$, ta được :

$$\frac{i_k l}{h_k} = \xi_2 - \xi_1 - 0{,}25(\xi_2^4 - \xi_1^4), \tag{37}$$

trong đó :

$$\xi_2 = \frac{h_2}{h_k} \text{ và } \xi_1 = \frac{h_1}{h_k}.$$

§IX-7. TÍCH PHÂN KHI i < 0

Sau khi tích phân cho trường hợp i < 0 ta đi đến :

$$\frac{il}{h'_o} = -\zeta_2 + \zeta_1 + (1 + j_k)\left[\varphi(\zeta_2) - (\zeta_1)\right] ; \tag{38}$$

$$\varphi(\zeta) = \int \frac{d\zeta}{1 + \zeta^x} + C.$$

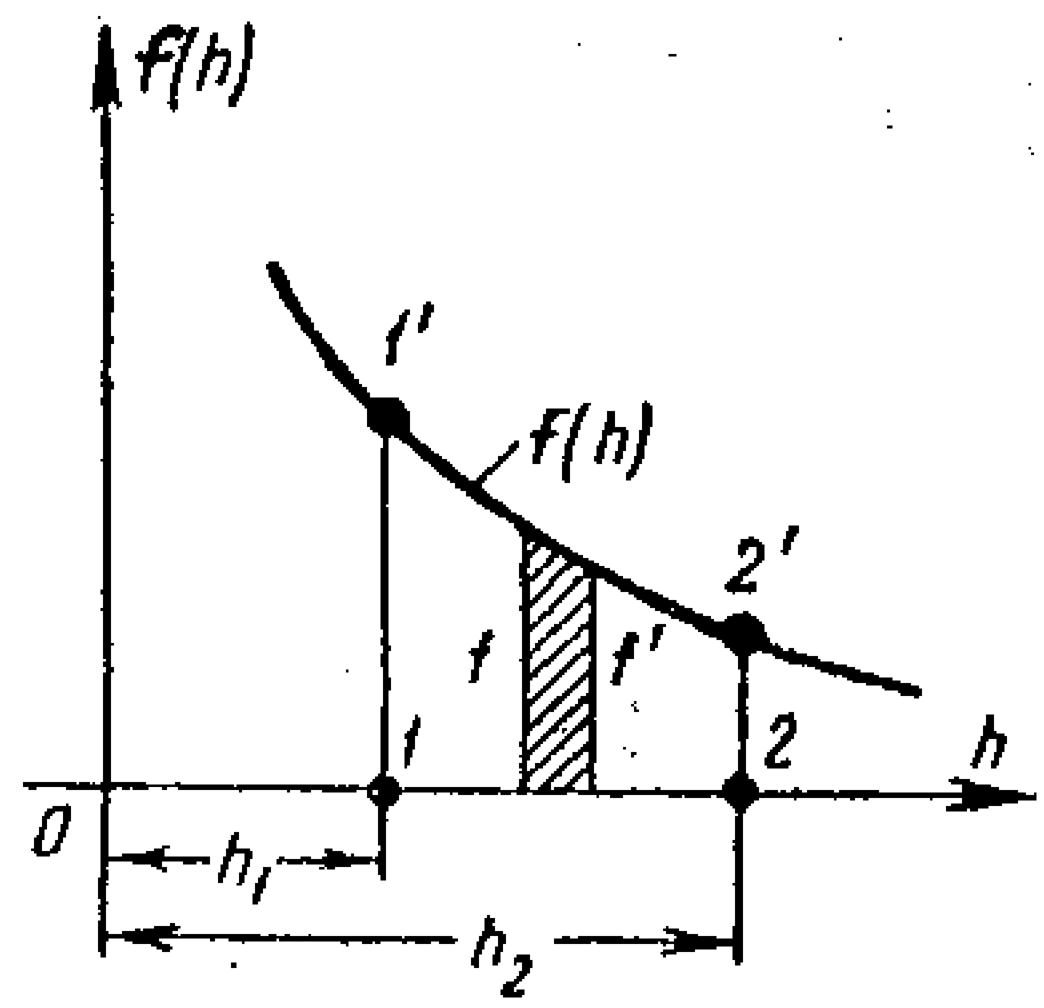
Tích phân này đòi hỏi phải lập bảng để tìm hàm $\varphi(\zeta)$. Các bảng này tìm được dễ dàng trong các tài liệu khác nhau về thủy lực.

Ngoài các phương pháp tích phân nói trên, còn có nhiều phương pháp tích phân khác nhau như của Levi, Vây v.v... Sau đây giới thiệu một phương pháp được dùng phổ biến là phương pháp gần đúng (còn gọi là phương pháp cộng dồn, sai phân hữu hạn).

§IX-8. CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍCH PHÂN GẦN ĐÚNG

1. Đối với lòng dẫn lăng trụ

Đối với lòng dẫn lăng trụ, phương pháp được dùng rộng rãi, đơn giản là phương pháp sai phân hữu hạn được xây dựng trên cơ sở dùng phương pháp Ole để tích phân gần đúng.



Ta sử dụng phương trình

$$\frac{dh}{ds} = i\,\frac{\left(\frac{h}{h_o}\right)^x - 1}{\left(\frac{h}{h_o}\right)^x - j}$$

Chia biến số, ta có :

$$ds = \frac{1}{i}\,\frac{\left(\frac{h}{h_o}\right)^x - j}{\left(\frac{h}{h_o}\right)^x - 1}\,dh \qquad (39)$$

hoặc là viết dạng sai phân : $\Delta s = \dfrac{1}{i}\,\dfrac{h^x - jh_o^x}{h^x - h_o^x}\,\Delta h.$ (40)

Tính toán sẽ đơn giản, nếu ta lấy số mũ thủy lực $x = 3$ hoặc $x = 4$ và $j = \text{const}$.

Để có độ chính xác hơn có thể dùng phương pháp tích phân hình thang.

Phương trình (39) có thể viết như sau : $ds = f(h)dh$. Tích phân tương ứng với các giới hạn, ta có :

$$l = s_2 - s_1 = \int_{h_1}^{h_2} f(h)\,dh.$$

Tích phân trên có thể hình dung là diện tích F, bằng :

$$F = F(1,1',2',2,1), \text{ tức là :}$$

$$l = F = \sum \frac{f + f'}{2}\,\Delta h = \sum_{h=h_1}^{h=h_2} \frac{f(h) + f(h + \Delta h)}{2}\,\Delta h \qquad (41)$$

2. Đối với lòng dẫn phi lăng trụ

Đối với lòng dẫn phi lăng trụ phương trình (7) nói chung là không thể tích phân được. Riêng đối với lòng dẫn nhân tạo mà $\omega = f(s)$ có thể biểu thị bằng công thức hình học thì cũng có thể tích phân. Trên thực tế người ta dùng các phương pháp tích phân gần đúng.

Sau đây giới thiệu phương pháp của Tsanômxki-Khetéd

Ta lấy một đoạn ds, xét 2 mặt cắt hai đầu.

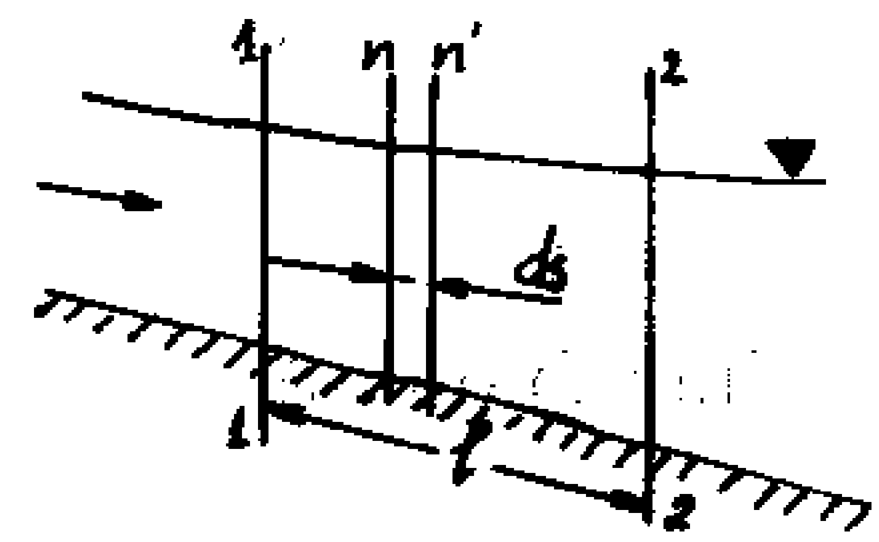
Sử dụng phương trình vi phân cơ bản dạng thứ nhất :

$$J = \frac{d}{ds}\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + \frac{v^2}{C^2 R} .$$

Vì $J = i - \dfrac{dh}{ds}$, còn $\dfrac{v^2}{C^2 R} = J_{tl}$,

trong đó J, i ,J_{tl} - lần lượt là độ dốc mặt thoáng, độ dốc đáy và độ dốc thủy lực, nên sau khi thay thế ta có :

$$i - \frac{dh}{ds} = \frac{d}{ds}\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + J_{tl} ,$$



hoặc : $$\frac{dh}{ds} + \frac{d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right)}{ds} = i - J_{tl} ,$$

hoặc $$\frac{d\left(h + \frac{\alpha v^2}{2g}\right)}{ds} = i - J_{tl} .$$

Nhưng biểu thức trong ngoặc là tỉ năng mặt cắt Э , vì vậy có thể viết :

$$\frac{dЭ}{ds} = i - J_{tl} ,$$

do đó : $$ds = \frac{dЭ}{i - J_{tl}}$$

hoặc viết dưới dạng sai phân hữu hạn :

$$\Delta s = \frac{Э_2 - Э_1}{i - J_{tl}} \tag{42}$$

trong đó rõ ràng là :

Δs - khoảng cách giữa hai tuyến :

$Э_2$ - $Э_1$ lần lượt là tỉ năng mặt cắt ở tuyến 2 và tuyến 1 ;

i - độ dốc đáy ;

J_{tl} - độ dốc thủy lực $J_{tl} = \left(\dfrac{\alpha v^2}{C^2 R}\right)_{tb}$

Ta có thể viết dạng chi tiết như sau :

$$\Delta s = \frac{\left(h_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g}\right) - \left(h_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g}\right)}{i - \left(\frac{v^2}{C^2 R}\right)_{tb}} \tag{43}$$

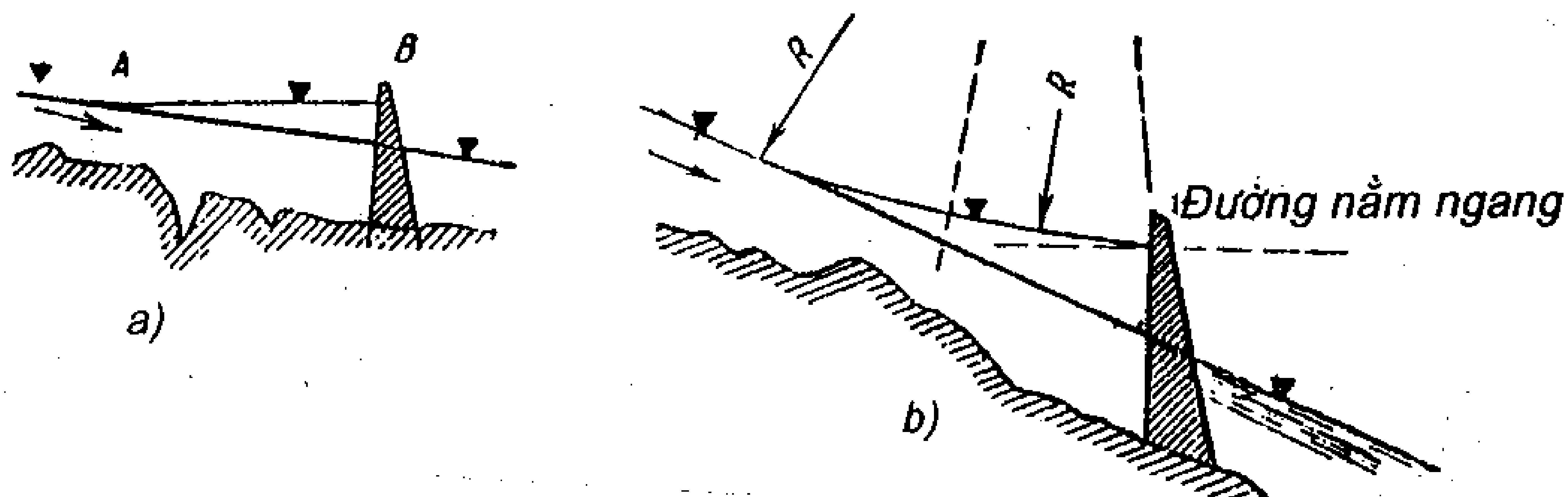
Phương trình (43) rất tiện lợi trong tính toán.

§IX-9. CHUYỂN ĐỘNG KHÔNG ĐỀU TRONG SÔNG THIÊN NHIÊN. CÁCH VẼ ĐƯỜNG NƯỚC DÂNG TRONG SÔNG THIÊN NHIÊN

Việc vẽ đường nước dâng trong sông thiên nhiên có ý nghĩa thực tiễn rất lớn.

Đường nước dâng thường xảy ra trên sông có xây đập ngăn và độ chính xác đòi hỏi rất cao. Khi có công trình dâng nước ở hạ lưu (đập, cầu, cống v. v...) mực nước được dâng lên và kéo dài lên phía thượng lưu hàng trăm km kèm theo đó là một diện tích hai bờ bị ngập rất lớn, có khi đó là những diện tích đất canh tác mầu mỡ, những đô thị, khu công nghiệp hoặc các di tích lịch sử ... Vì vậy đòi hỏi phải tính rất chính xác.

Tuy nhiên tùy theo giai đoạn thiết kế mà mức độ chính xác đòi hỏi khác nhau. Ví dụ ở giai đoạn nghiên cứu khả thi, thiết kế sơ bộ cần tính toán nhanh nên độ chính xác có thể thấp hơn các giai đoạn thiết kế khác.



Đơn giản nhất, tất nhiên là giả thiết đường mặt nước là một đường thẳng nằm ngang. Chính xác hơn thì xem là một cung tròn hoặc pa-ra-bôn. Chính xác nhất là dùng phương pháp lòng dẫn tương đương của Tolman. Nhưng phương pháp đáng tin cậy nhất là phương pháp dùng trực tiếp phương trình Bécnui, phương pháp của Pavlôpxki, của Bétnatxki.

Tất cả các phương pháp đều có một điểm chung là đường mặt nước phải vẽ từ hạ lưu (vị trí công trình) lên phía nguồn và di dần từ mặt cắt này đến mặt cắt kia.

Vì hình dạng lòng dẫn, độ dốc và các thông số khác của lòng dẫn tự nhiên thay đổi liên tục và rất đột ngột dọc theo chiều dài của lòng dẫn, nên để tính cần chia lòng dẫn thành các đoạn tính toán. Các đoạn đó phải có các đặc trưng tương đối giống nhau.

Thông thường người ta căn cứ vào sự đồng nhất của độ dốc đường mặt nước để chia đoạn. Chiều dài của các đoạn có thể dao động từ vài km đến vài trăm km.

Sau đây ta nghiên cứu phương pháp vẽ đường mặt nước trực tiếp từ phương trình Bécnui.

Ta viết cho mặt cắt đầu và mặt cắt cuối của đoạn tính toán (ví dụ đoạn 1).

$$H_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g} = H_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g} + h_{w_{2-1}}.$$

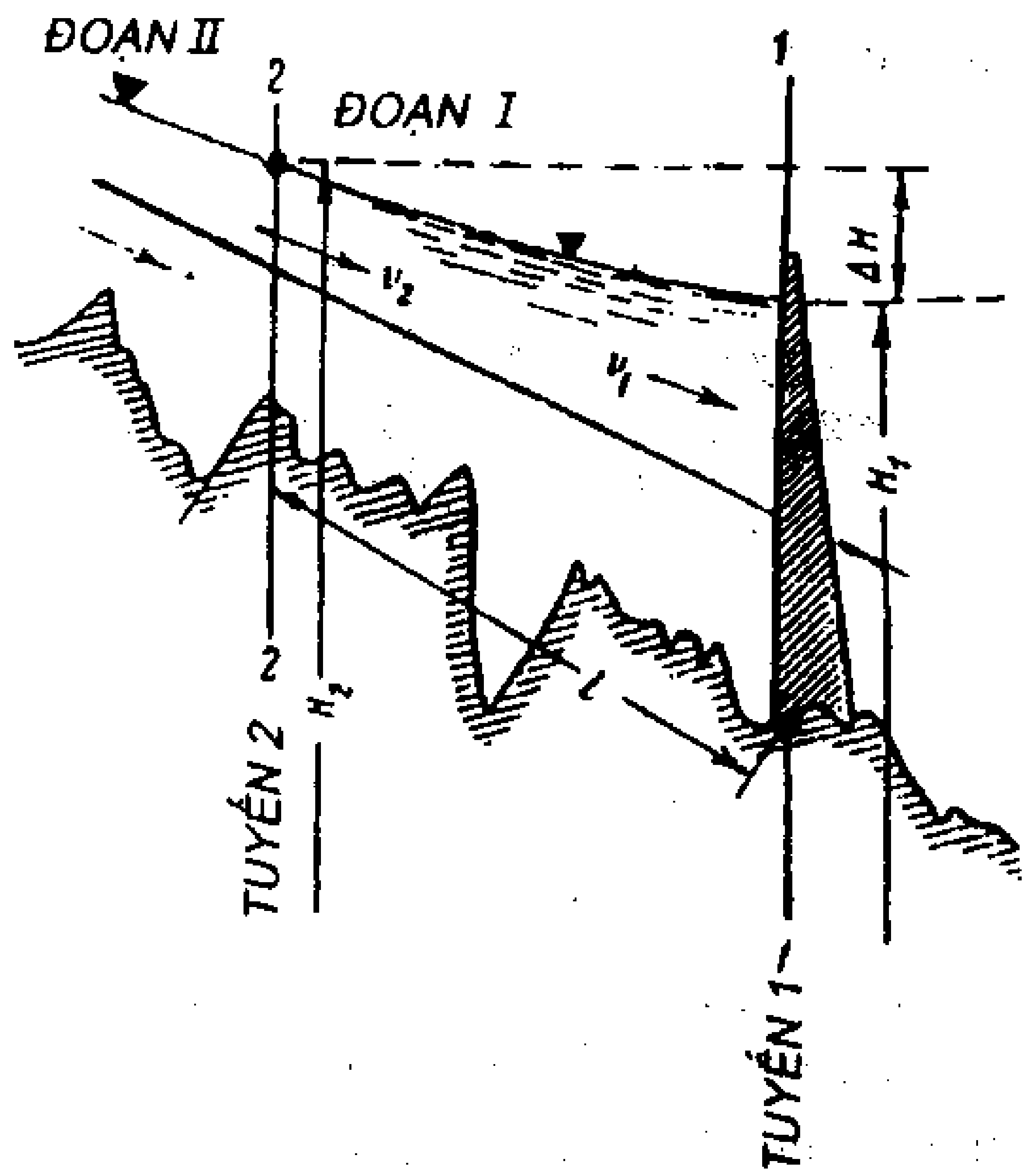
Thay $v_2 = Q/\omega_2$ và $v_1 = Q/\omega_1$, tổn thất cột nước h_w được xác định theo công thức Sêdi, ta có :

$$H_2 + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega_2^2} = H_1 + \frac{\alpha Q^2}{2g\omega_1^2} + \frac{\alpha Q^2}{(\omega^2 C^2 R)_{tb}} . l.$$

hoặc vì $\omega C\sqrt{R} = K$ - đặc trưng lưu lượng, nên :

$$H_2 - H_1 = \Delta H = \frac{\alpha Q^2}{2g}\left(\frac{1}{\omega_2^2} - \frac{1}{\omega_1^2}\right) + \frac{\alpha Q^2}{K_{tb}^2} l. \qquad (44)$$

Đó sẽ là phương trình tính toán. Đại lượng cần tìm ở đây là độ hạ thấp mặt thoáng $\Delta H = H_2 - H_1$; trong đó H_1 - cao trình mực nước tại tuyến dưới là đại lượng cho trước phù hợp với các điều kiện xây dựng công trình.



Tính trực tiếp H_2 là điều không thể làm được vì nếu ở tuyến dưới các số liệu đều được cho trước (H_1, h_1, ω_1, n_1 v.v...) thì ở tuyến trên các đại lượng này lại chưa biết vì H_2 chưa biết.

Vì thế H_2 chỉ có thể tìm được bằng cách thử dần. Có thể tiến hành tính theo cách lập bảng hoặc tính lặp trên máy tính.

Trong nhiều trường hợp có thể bỏ qua số hạng thứ nhất của vế phải phương trình (44) vì nó nhỏ so với số hạng thứ hai. Trong trường hợp đó ta sẽ có giá trị ΔH lớn hơn một chút, đó cũng là độ dự trữ cần thiết trong tính toán tức là đường nước dâng sẽ được vẽ không thấp hơn đường thực tế.

Trong trường hợp này tính toán sẽ trở nên đơn giản hơn. Công thức tính toán lúc đó sẽ là :

$$H = \frac{\alpha Q^2}{K_{bt}^2} l \qquad (45)$$

Tính toán được thực hiện theo bảng

Số thứ tự đoạn	H_1	H_2	ΔH	K_1	K_2	$K_{tb} = \frac{K_1 + K_2}{2}$	$\Delta H'_I = (Q^2 / K_{tb}^2) l$	Chú thích
I	H_1	H'_2	$\Delta H'$	K_1	K'_2	K'_{tb}	$\Delta H'_I$	Nếu $\Delta H'_I = \Delta H'$; thì tính toán kết thúc và chúng ta chuyển sang tính đoạn II
II								

Phương pháp tính toán nói trên có độ chính xác phụ thuộc rất nhiều vào độ chính xác của việc xác định trị số đặc trưng lưu lượng $K_{tb} = (K_1 + K_2)/2$, cũng tức là phụ thuộc vào độ chính xác của việc xác định các yếu tố hình học của lòng dẫn (ω, χ, R) và độ chính xác của hệ số nhám n.

Điều quan trọng ở đây là phải xác định chính xác hệ số nhám, đó là điều mà trong thực tế phải đặc biệt chú ý

Ví dụ IX-1

Xác định độ sâu phân giới (h_k) trong kênh hình thang cho biết $Q = 40m^3/s$, $b = 8,5m$, $m = 2$ bằng phương pháp tổng quát.

Giải : Đối với kênh hình thang

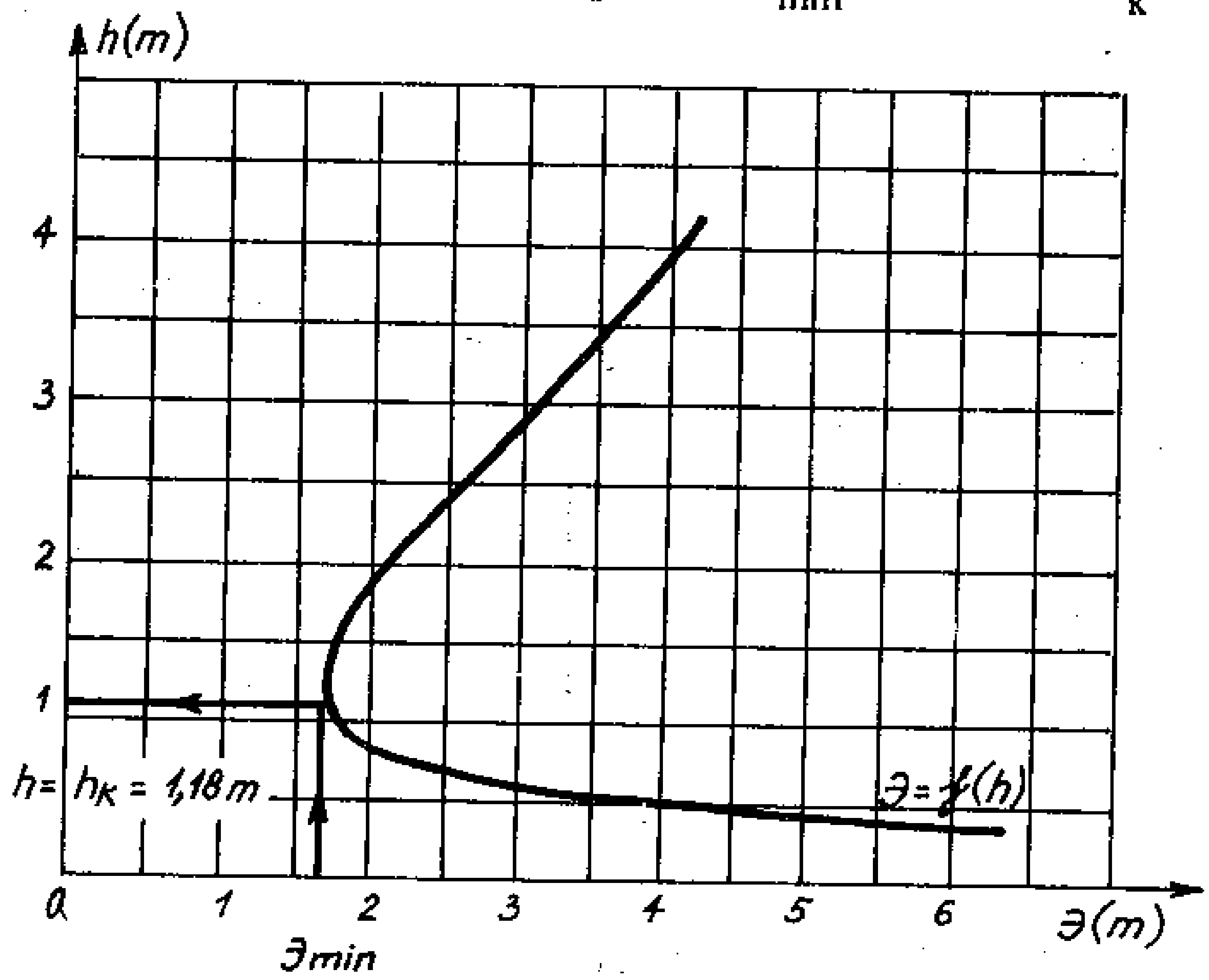
$$\omega = (b + mh)\, h.$$

$$v = \frac{Q}{\omega}, \qquad Э = h + \frac{\alpha Q^2}{\omega^2 2g}$$

cho các giá trị h tính ω, v và Э. Kết quả được ghi ở bảng sau :

h(m)	$\omega(m^2)$	$\omega^2(m^4)$	$\frac{\alpha Q^2}{2g\omega^2}$ (m)	Э (m)
4	66	4356	0,0187	4,0187
3	43,5	1892,25	0,043	3,043
2,5	33,75	1139,1	0,072	2,572
2	25	625,0	0,130	2,13
1,5	17,25	295,56	0,276	1,776
1,2	13,08	171,1	0,477	1,677
1	10,5	110,25	0,74	1,74
0,75	7,5	56,25	1,45	2,2
0,5	4,75	22,56	3,61	4,11
0,4	3,72	13,84	5,88	6,28

Lập đồ thị quan hệ $Э = f(h)$ ứng với $Э_{min}$ có $h = h_k = 1,18m$



Ví dụ IX-2

Cũng số liệu như bài trên giải theo phương trình cơ bản :

$$\frac{\alpha Q^2}{g} = \frac{\omega_k^3}{B_k}$$

Giải :

Tính $A = \frac{\alpha Q^2}{g} = \frac{1 \times 40^2}{9{,}81} = 163{,}1\,m^5$

Cho các giá trị h tính

$$\omega = (b + mh)\ h = (8{,}5 + 2h)\ h.$$

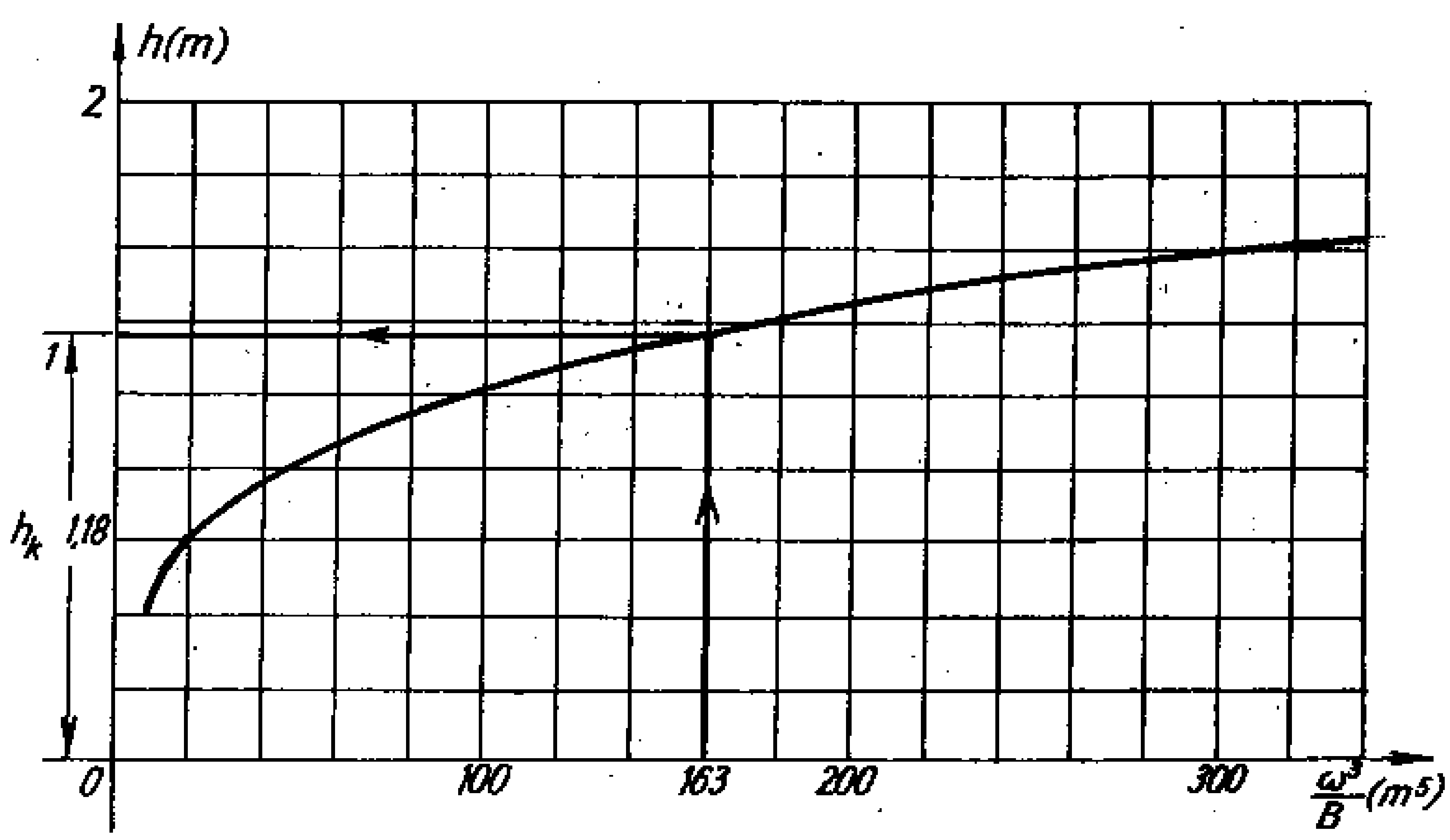
$$B = b + 2mh = 8{,}5 + 4h$$

$$\frac{\omega^3}{B}$$

Kết quả tính toán được ghi ở bảng sau :

H	B	ω	ω^3	ω^3/B
2	16,5	33,75	38443	2078
1,5	14,5	17,25	5133	354
1,2	13,3	13,08	2238	168
1	12,5	10,5	1157,6	92,6
0,8	11,7	8,08	527,5	45,1
0,75	11,5	7,5	422	36,7
0,6	10,9	5,82	197,1	18,1
0,5	10,5	4,75	107,2	10,2
0,4	10,1	3,75	51,5	5,1

Vẽ đồ thị quan hệ $\omega^3/B = f(h)$



Ứng với $\frac{\omega^3}{B} = 163{,}1 \rightarrow \mathbf{h = h_k = 1{,}18m.}$

Ví dụ IX-3 :

Xác định chiều sâu phân giới trong kênh hình chữ nhật có $Q = 36\ m^3/s$, $b = 8m$

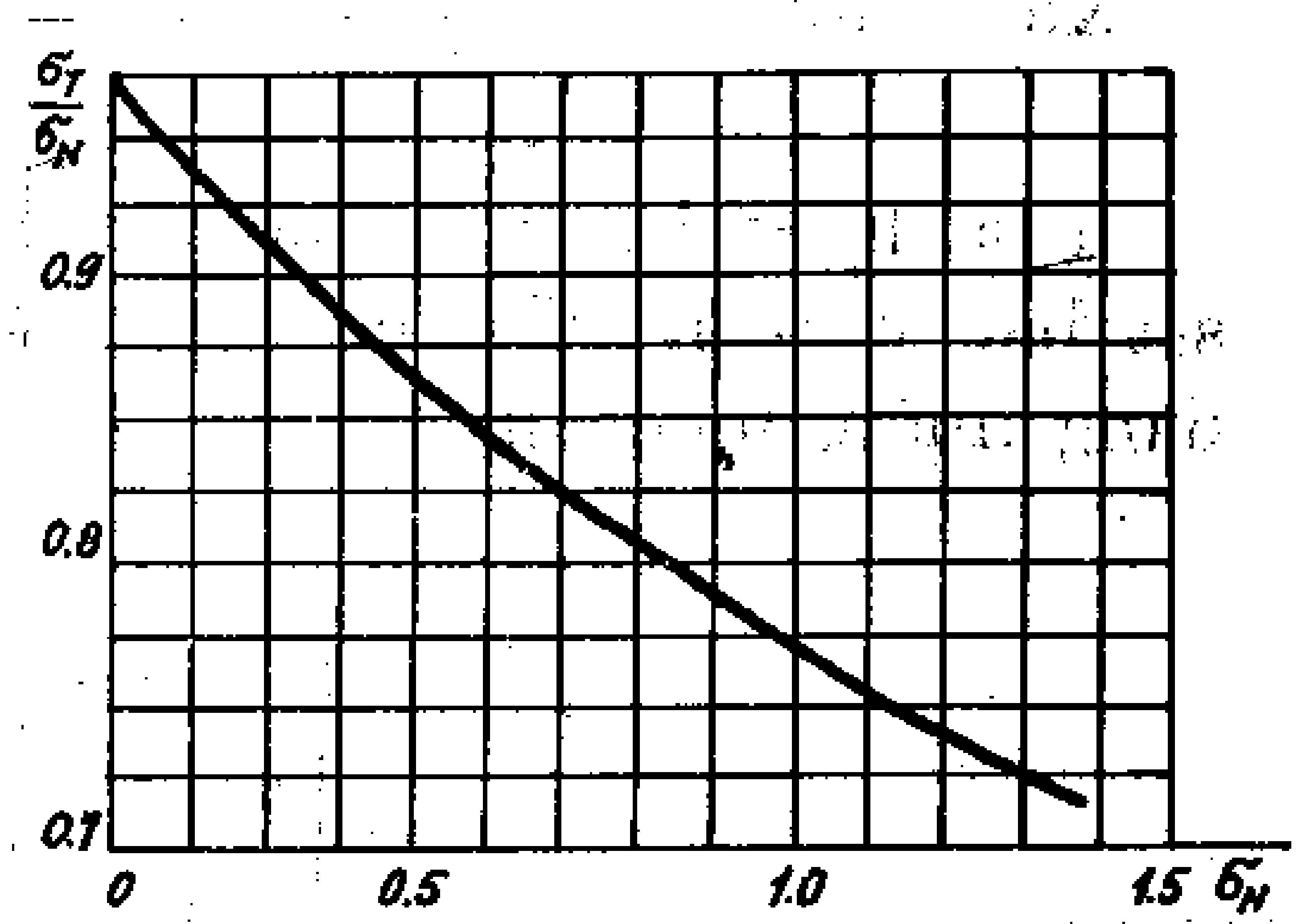
Giải :

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{36}{8} = 4,5\ m^2/s.$$

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{4,5^2}{9,81}} = 1,27m$$

Ví dụ IX-4 :

Kênh hình thang có $Q = 45\ m^3/s$, $b = 6m$, $m = 2$, độ sâu chảy đều $h_o = 3m$. Xác định trạng thái chảy trong kênh : chảy xiết hay chảy êm ?



Giải

Cách 1 : Xác định độ sâu phân giới trong kênh hình thang bằng phương pháp Agrôtxkin :

$$h_{k_T} = \frac{\sigma_T}{\sigma_N} \cdot h_{k_N}$$

Trong đó : $$h_{k_N} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{b^2 g}} = \sqrt{\frac{45^2}{6^2 \cdot 9,81}} = 1,8m$$

h_{k_N} là độ sâu phân giới trong kênh chữ nhật có cùng b và Q như kênh hình thang.

$$\sigma_N = \frac{m \cdot h_k}{b} = \frac{2 \cdot 1,8}{6} = 0,6$$

Theo Agrôtxkin $$\frac{\sigma_T}{\sigma_N} = 1 - \frac{\sigma_N}{3} + 1,05\sigma_N^2$$

$$= 1 - \frac{0,6}{3} + 1,05 \times (0,6)^2 = 0,82$$

$$h_{k_T} = \frac{\sigma_T}{\sigma_N} \cdot h_{K_N} = 0,82 \times 1,8 = 1,476m$$

$h_o > h_k$ - dòng chảy trong kênh ở trạng thái chảy êm

Cách 2 :

Tính $$Fr = \frac{\alpha Q^2}{g\omega^3} \cdot B \text{ với } h = h_o$$

$$\omega = (b + mh_o)\ h_o = (6 + 2 \times 3)\ 3 = 36m^2$$

$$B = b + 2mh = 6 + 4.3 = 18m$$

$$Fr = \frac{45^2}{9{,}81 \cdot 36^3} \times 18 = 0{,}08 \rightarrow F_r < 1$$

dòng chảy trong kênh ở trạng thái chảy êm.

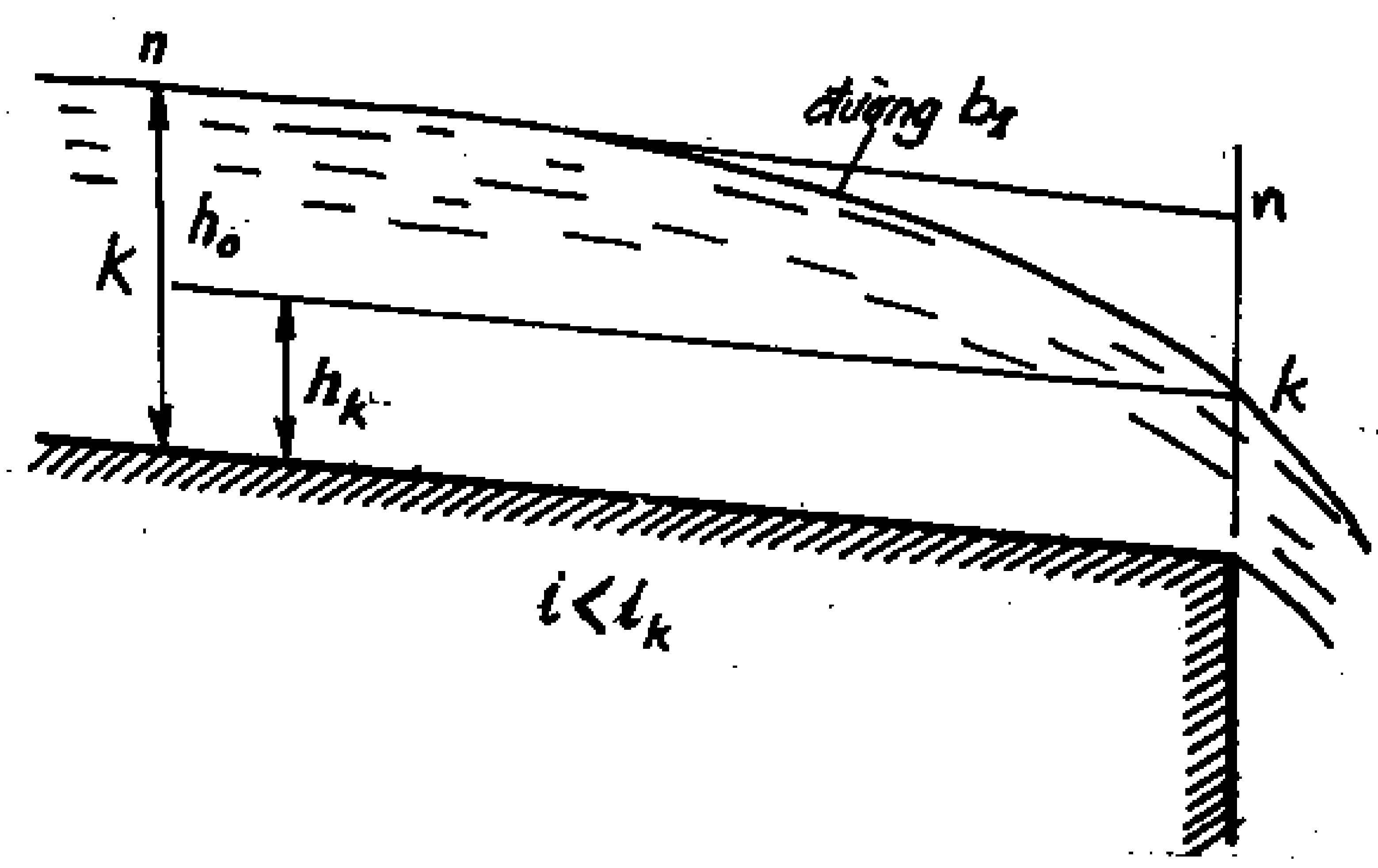
Ví dụ IX-5 :

Xác định dạng đường mặt nước trong kênh hình chữ nhật phía cuối có bậc thụt $Q = 42m^3/s$, $b = 7m$, $h_o = 7m$

Giải :

$$\text{Xác định } h_r = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g b^2}} = \sqrt[3]{\frac{42^2}{9{,}81 \times 7^2}} = 1{,}71\text{m}$$

$h_o > h_k \rightarrow i < i_k$ - đường n-n phía trên đường k-k, cách xa bậc $h = h_o$, sát bậc $h = h_k$. Đường mặt nước thay đổi từ $h = h_o$ đến $h = h_k$ đó là dạng đường nước hạ b_I

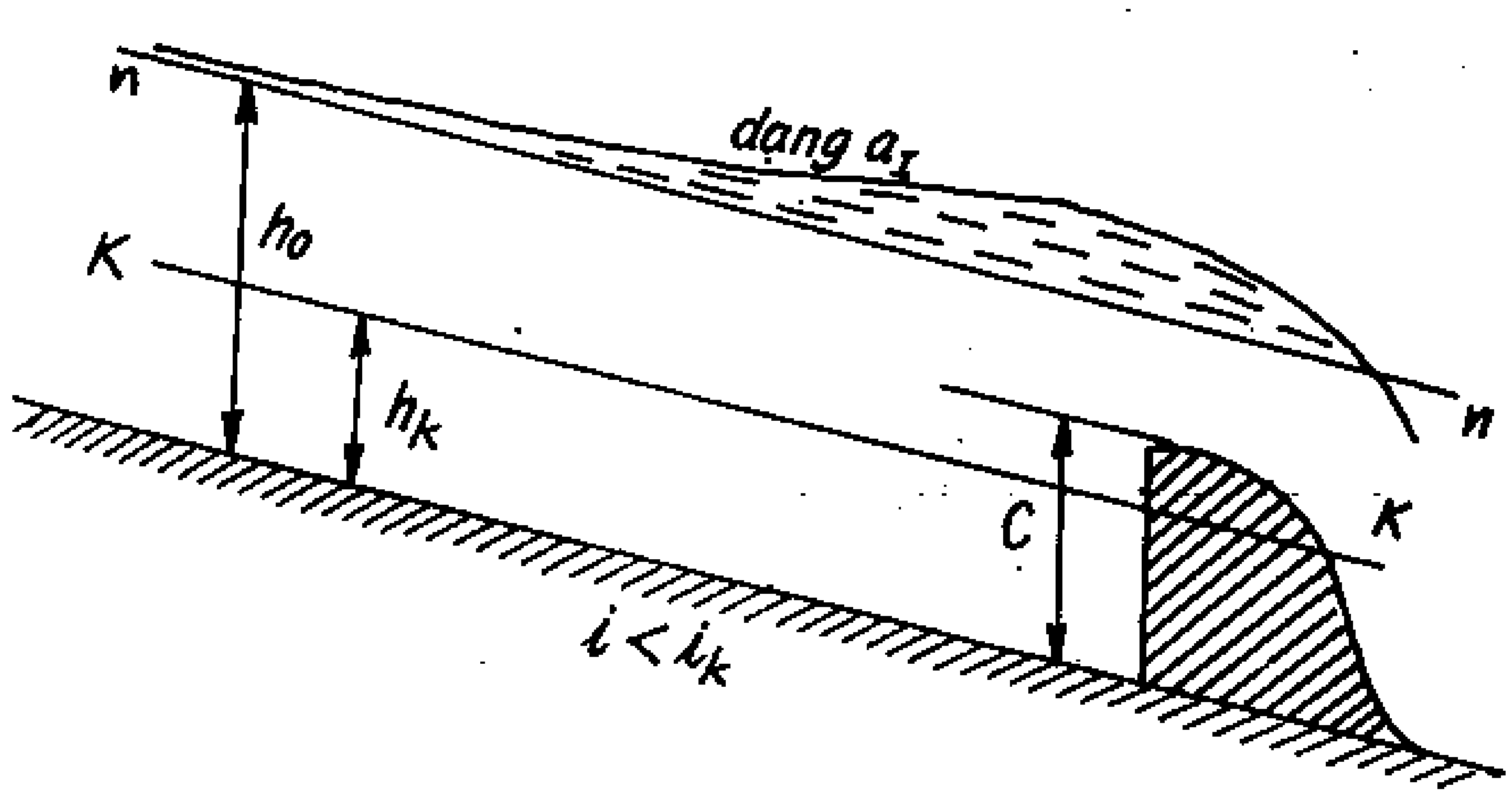


Ví dụ IX-6 :

Cũng với số liệu như ví dụ trên, nếu trên kênh có một tường chắn nước có $h > h_k$, xác định dạng đường mặt nước trước tường

Giải :

Dòng chảy trong kênh có $h > h_k$ là dòng chảy êm. Để vượt qua tường chắn có $C > h_k$ năng lượng được tích lại ở dạng thế năng, tức là dòng chảy càng tiến đến tường chắn chiều sâu càng tăng lên. Cách xa tường $h = h_o$ gần tường $h > h_o$. Đó là dạng đường nước dâng a_I



Ví dụ IX-7 :

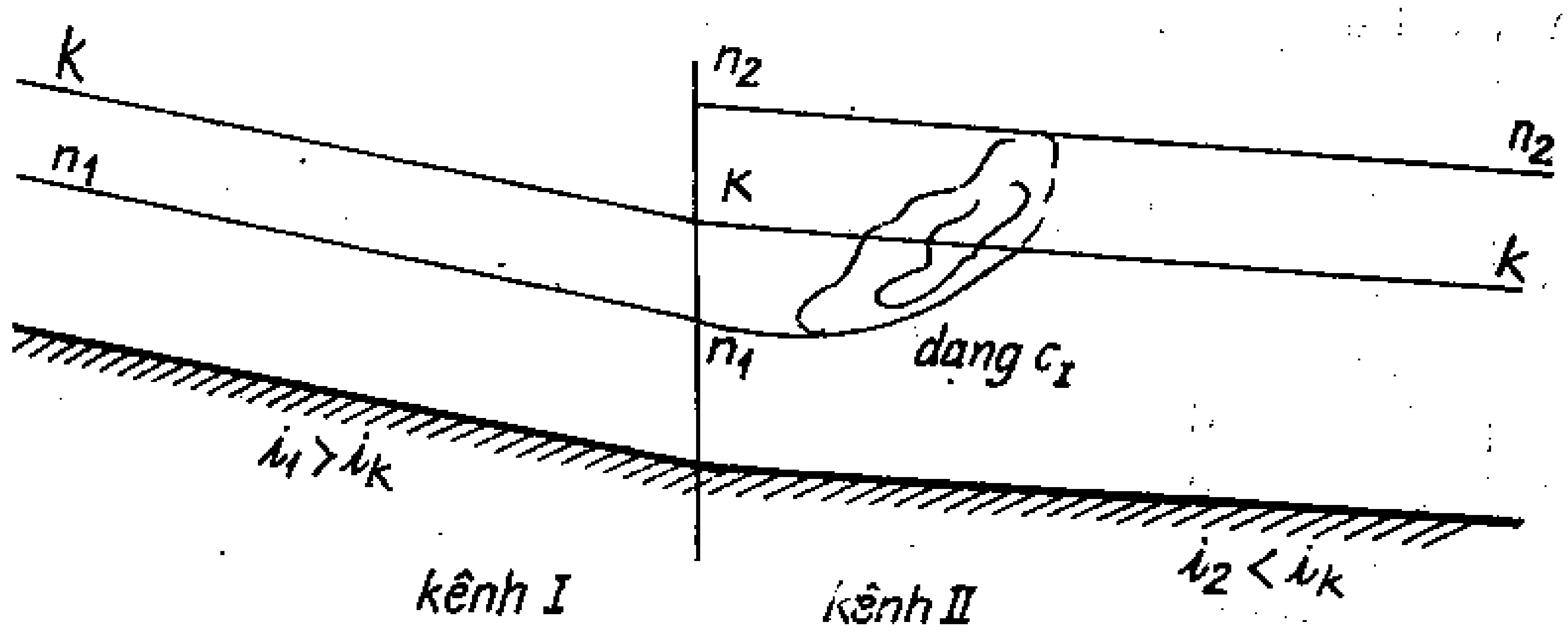
Xác định dạng đường mặt nước trong kênh hình chữ nhật có $Q = 60\ m^3/s$, $b = 5m$, $h_{0_2} = 2m$ chuyển sang kênh 2 có $h_{0_2} = 5m$.

Giải

$$h_{k_1} = h_{k_2} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g b^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{60^2}{9{,}81 . 5^2}} = 2{,}45m$$

Ở kênh I, $h_k > h_{01} \rightarrow i_1 > i_k$ đường k-k phía trên đường $n_1 - n_1$, ở kênh II, $h_{0_2} > h_k$ đường k-k phía dưới đường n_2-n_2. Phía thượng lưu cách xa chỗ chuyển tiếp $h \approx h_{01}$. Ở hạ lưu cách xa chỗ chuyển tiếp trên kênh II $h \approx h_{0_2}$. Như vậy từ kênh I chuyển sang kênh II chiều sâu thay đổi $h = h_{0_1} \rightarrow h = h_{0_2}$ tức là từ chảy xiết sang chảy êm. Đường nước dâng từ $h_{0_1} \rightarrow h_{0_2}$ chỉ tồn tại ở kênh II đó là đường nước dâng c_I từ h_{0_1} đến $h = h_k$



Ví dụ IX-8 :

Vẽ đường mặt nước trong kênh chữ nhật có bậc thụt với $q = 18\ m^2/s$, $n = 0{,}02$, $h_o = 5m$, $b = 8m$ bằng phương pháp cộng trực tiếp

Giải :

Xác định dạng đường mặt nước.

Tính h_k :

$$h_k = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} = \sqrt{\frac{18^2}{9{,}81}} = 3{,}2\,m$$

$h_o > h_k$ có nghĩa là $i < i_k$ dạng đường mặt nước trước bậc thụt có dạng b_I.

Vẽ đường mặt nước.

Tại bậc thụt $h = h_k$ cách xa bậc thụt về phía thượng lưu $h = h_o$. Như vậy giá trị h thay đổi từ h_k đến h_o theo chiều ngược dòng chảy. Chia dòng chảy ra từng đoạn chiều dài mỗi đoạn được xác định.

$$\Delta l = \frac{\Delta Э}{i - J}$$

$$\Delta Э = Э_2 - Э_1 = \left(h_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g}\right) - \left(h_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}\right).$$

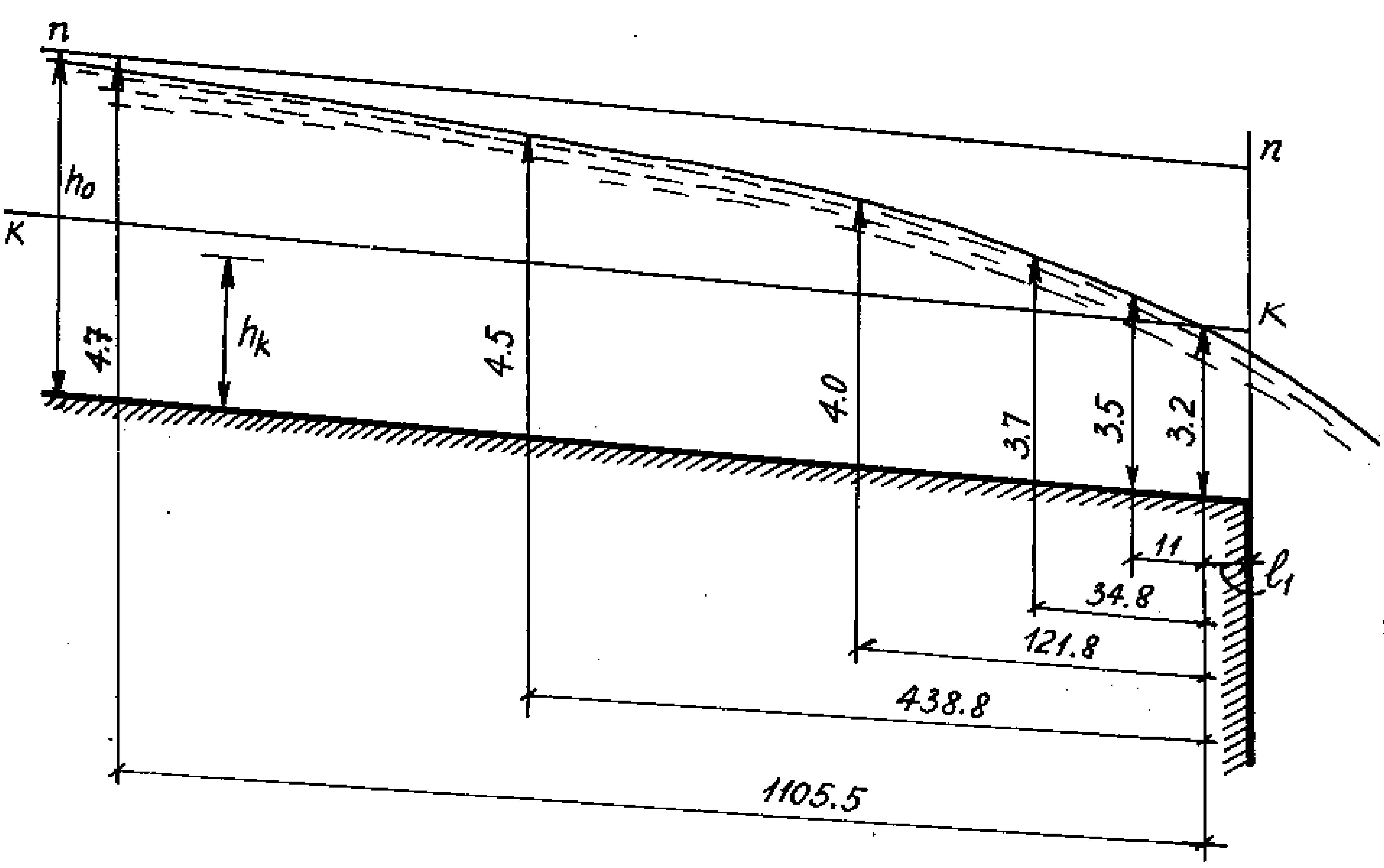
Độ dốc đáy kênh $i = \frac{Q^2}{K_o^2} = \frac{(144)^2}{(3320)^2} = 0,0019$

$$\bar{J} = \frac{J_1 + J_2}{2} \text{ hoặc } \bar{J} = \frac{Q^2}{\bar{K}_2} = \frac{Q^2}{\bar{\omega}^2 \bar{C}^2 \sqrt{\bar{R}}}$$

Trị số $\bar{\omega}$, $\bar{C}$ $\bar{R}$ tính theo $\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{2}$ giá trị 1 lấy ở mặt cắt phía thượng lưu, giá trị 2 lấy ở mặt cắt phía hạ lưu của đoạn dòng mà ta tính toán.

Đoạn đầu tiên lấy $h_2 = h_k$, $h_1 = h$ trong đó $h_k < h < h_o$. Kết quả tính toán được ghi ở bảng sau:

h (m)	ω (m^2)	v (m/s)	$v^2/2g$ (m)	Э (m)	$\bar{h}$ (m)	$\bar{C}\sqrt{\bar{R}}$ $(\sqrt{m})^2$	$\bar{K}$ m^3/s	$\bar{J}$	Δl	$\sum\Delta l$
3,2	25,6	5,62	1,64	4,8						
3,5	28	5,14	1,35	4,85	3,35	73,1	1957	0,0054	11	11
3,7	29,6	4,86	1,2	4,9	3,6	75,72	2241	0,004	23,8	34,8
4,0	32	4,5	1,03	5,03	3,85	77	2464	0,0034	87	121,8
4,5	36	4,0	0,8	5,3	4,25	79,5	2703	0,0028	31,7	438,8
4,8	38,4	3,75	0,72	5,5	4,65	82	3050	0,0022	666	1104,8
5	40	3,6	0,66	5,66	4,9	83	3235	0,002	1600	2704,5



Ví dụ IX-9 :

Xác định trạng thái chảy trong kênh hình chữ nhật có $Q = 34\ m^3/s$, độ sâu chảy đều $h_o = 3m$, $b = 5m$.

Đáp số : $Fr < 1$ - chảy êm

Ví dụ IX-10 :

Kênh có mặt cắt hình chữ nhật $Q = 50\ m^3/s$, $b = 8m$. Xác định độ sâu phân giới.

Đáp số : $h_k = 1{,}58m$

Ví dụ IX-11 :

Một kênh có mặt cắt hình thang có $b = 8m$, $m = 1$, $n = 0{,}025$, $Q = 25m^3/s$. Cuối kênh có đập tràn, cột nước tại điểm B trước đập là $h_B = 2{,}6m$.

Biết độ sâu chảy đều trong kênh $h_o = 2{,}2m$. Vẽ đường mặt nước theo phương pháp số mũ thủy lực. Giả thiết $x = 3$. Cho biết $h_k = 0{,}978m$

Đáp số : đường a_I

h_m	2,6	2,55	2,5	2,45	2,4	2,35	2,3	2,75	2,21
$\sum\Delta l_m$	0	366	798	1546	2074	3064	3957	5322	9575

Ví dụ IX-12 :

Kênh hình thang đáy thuận có $b = 10m$, $h_{01} = 3m$, $m = 1{,}5$, $n = 0{,}02$, nối với một dốc có $h_{02} = 1{,}4$ và $n = 0{,}017$. Cho lưu lượng $Q = 80m^3/s$.

Yêu cầu vẽ đường mặt nước trên dốc biết rằng hình dạng mặt cắt ngang của lòng dẫn không thay đổi. Cho biết $h_k = 1{,}7m$.

Đáp số : đường a_{II}

h_m	1,7	1,6	1,55	1,53	1,51	1,49	1,47	1,45	1,43	1,41
$\sum\Delta l_m$	0	4,58	10,18	18,38	28,28	38,78	50,49	65,29	98,1	135,5