

Chương XVI

CHUYỂN ĐỘNG CỦA NƯỚC NGÂM

§ XVI-1. CÁC DẠNG CHUYỂN ĐỘNG CỦA NƯỚC NGÂM

Nước chứa trong đất có thể ở dạng hơi, dạng mao dẫn cũng như dạng trọng lực.

Khi ở thể hơi và mao dẫn thì dạng liên kết phân tử và các dạng liên kết khác là cản trở chính cho sự di chuyển của nước dưới tác động của lực trọng trường. Chỉ có nước ở dạng trọng lực, được gọi là nước ngầm, mới chuyển động thực sự dưới tác động của lực trọng trường. Chuyển động của nước ngầm còn được gọi là *chuyển động thấm*. Chuyển động của nước ngầm trong lòng dẫn hở cũng như trong ống có thể là chuyển động ổn định, không ổn định, đều, không đều, thay đổi dần, thay đổi đột ngột, có áp, không áp, phẳng (hai chiều) và ba chiều (không gian).

Trạng thái chuyển động của nước ngầm có thể là tầng hoặc rôi.

Nếu các đặc trưng động học của chuyển động tại mỗi điểm của dòng nước ngầm không thay đổi theo thời gian thì chuyển động của dòng nước ngầm là chuyển động ổn định.

Chuyển động nước ngầm thay đổi dần được đặc trưng bằng các đường dòng có độ cong nhỏ (có thể xem chúng gần như song song), còn mặt cắt ướt vì thẳng góc với các đường dòng nên có thể xem là mặt phẳng, áp suất được phân bố trên mặt cắt ướt theo quy luật thủy tĩnh.

Nếu dòng nước ngầm chuyển động với mặt thoáng để trên đó áp suất bằng áp suất khí quyển thì chuyển động nước ngầm lúc này là chuyển động không áp.

Nếu dòng nước ngầm xảy ra trong tầng đất chứa đầy nước (tất cả các lỗ rỗng đều chứa nước), nằm kẹp giữa hai tầng đất (trên và dưới) không thấm nước, tức là đường đo áp luôn nằm cao hơn đường biên trên của tầng chứa nước, thì chuyển động của dòng nước ngầm là chuyển động có áp.

§ XVI-2. ĐẶC TÍNH THẤM CỦA ĐẤT

Độ rỗng của vật thể được định nghĩa là sự chứa một số lượng lớn các lỗ rỗng. Các lỗ rỗng này có kích thước nhỏ thua nhiều lần vật thể (hoặc là

khoảng không gian bị chiếm bởi các lỗ rỗng). Độ rỗng trong đất được chia thành các lỗ rỗng, các khe nứt và các hang hốc.

Đặc tính thấm của đất phụ thuộc vào thành phần và tính chất của đất.

Độ rỗng - tỉ số giữa thể tích rỗng W_R và thể tích đất W :

$$m = \frac{W_R}{W} \quad (1)$$

Trong cơ học đất khái niệm *hệ số rỗng* e được dùng để chỉ tỉ số giữa thể tích rỗng W_R và thể tích tổng cộng của các hạt cứng W_H :

$$e = \frac{W_R}{W_H}; \quad e = \frac{m}{1-m}; \quad m = \frac{e}{1+e}.$$

Độ rỗng luôn nhỏ hơn một, còn hệ số rỗng có thể nhỏ hơn hoặc lớn hơn một (với đất sét có thể bằng 4).

Đất còn được đặc trưng bằng *độ rỗng bề mặt*

$$m_\omega = \frac{\omega}{\Omega}, \quad (2)$$

trong đó ω - diện tích tổng cộng của lỗ rỗng trong phạm vi diện tích Ω của đất. Đại lượng m_ω còn được gọi là *độ thoáng*.

Theo (1) ta được *độ rỗng trung bình* của một thể tích xác định. Để tìm *độ rỗng cục bộ* phải lấy giới hạn của (1) :

$$m_{TB} = \lim_{W \rightarrow 0} \frac{W_R}{W}$$

Giá trị trung bình của độ rỗng m bằng giá trị trung bình của bề mặt rỗng m_ω .

Một số lỗ rỗng có thể bị khép kín, không có mối liên hệ với các lỗ rỗng khác. Nước trong các lỗ rỗng khép kín không tham gia vào chuyển động thấm. Một số lỗ rỗng có thể có chứa không khí. Có thể phân thành *độ rỗng tuyệt đối* (chung) và *độ rỗng hiệu ích*. Trong công thức (1) đại lượng W_R chỉ là thể tích của các lỗ rỗng không khép kín mà qua đó chất lỏng có thể chuyển động được.

Xét về độ lớn, lỗ rỗng và khe nứt có thể được chia ra thành loại *mao dẫn cao* (khi mà chất lỏng có thể di chuyển tự do), *mao dẫn* và *mao dẫn yếu*. Kích thước của loại lỗ rỗng mao dẫn cao - lớn hơn 0,5 mm; khe nứt mao dẫn cao - lớn hơn 0,25 mm; loại lỗ rỗng mao dẫn - từ 0,5 đến 0,002 mm, loại khe nứt mao dẫn - từ 0,25 đến 0,0001 mm. Sức căng mặt ngoài

có ảnh hưởng lớn đến sự di chuyển của chất lỏng trong các lỗ rỗng và khe nứt mao dẫn. Chất lỏng và chất khí rất khó thấm qua đất có các lỗ rỗng và khe nứt nhỏ.

Các giá trị gần đúng của độ rỗng được ghi trong bảng 1.

Bảng 1

Các loại đất	m	Các loại đất	m
Cuội, d = 2 ÷ 20 mm	0,3 ÷ 0,4	Á cát	0,35 ÷ 0,5
Cát, d = 0,05 ÷ 2 mm	0,3 ÷ 0,45	Sét	0,4 ÷ 0,55
Á sét	0,35 ÷ 0,45	Than bùn	0,6 ÷ 0,95

Độ nứt nẻ của đá được đặc trưng bằng *môđun nứt nẻ* M_T . M_T là tỉ số giữa chiều dài khe nứt trên 1m dài. Môđun nứt nẻ thay đổi từ giá trị nhỏ hơn 1,5 (nứt nhẹ) đến lớn hơn 30 (nứt nhiều).

Độ nứt nẻ bề mặt :

$$m_{\omega} = \frac{\omega_K}{\Omega},$$

trong đó ω_K - diện tích tổng cộng các khe nứt trong phạm vi diện tích Ω của đất.

Vậy độ rỗng do nứt nẻ :

$$m_K = \frac{W_K}{W},$$

Trong đó W_K - thể tích tổng cộng các khe nứt trong phạm vi thể tích W của đất. Độ rỗng do nứt nẻ m_K thay đổi trong phạm vi 0,05 ÷ 0,005.

- Cần phải lưu ý đến một số tính chất của đất khi nghiên cứu đặc tính thấm của đất thiên nhiên. Dưới tác động của nước, băng, gió và nhiệt độ, nham thạch bị phong hoá thành các loại đất thiên nhiên khác nhau. Vì vậy có thể chia đất thiên nhiên thành hai loại : đất đồng chất và đất không đồng chất.

Trong đất đồng chất, đặc tính thấm đối với mọi điểm đều như nhau. Trong đất không đồng chất, đặc tính thấm phụ thuộc vào vị trí của từng điểm.

Đất đồng chất thiên nhiên lại chia ra đất đẳng hướng và đất không đẳng hướng. Trong đất đẳng hướng, đặc tính thấm không phụ thuộc vào phương chuyển động của dòng thấm. Ngược lại trong đất không đẳng hướng đặc tính thấm lại phụ thuộc vào phương chuyển động của dòng thấm.

Đất được tạo nên bởi các hạt dạng cầu có kích thước giống nhau - đồng chất và đẳng hướng.

Đất được tạo nên bởi các hạt có dạng tương tự hình bình hành hoặc hình trụ có kích thước giống nhau - đồng chất nhưng không đẳng hướng.

Trong thiên nhiên lại thường gặp các loại đất nằm thành lớp, ở mỗi lớp, các đặc tính thấm có thể khác nhau. Các lớp đá gốc thường không thấm nước, nhưng lúc bị phá hoại thì đá trở thành thấm nước và nước sẽ chuyển động dọc các khe nứt nẻ theo những quy luật đặc biệt.

Sau đây ta chỉ nghiên cứu chuyển động nước ngầm ổn định, trong đất đồng chất, đẳng hướng bão hoà nước với $m = m_w$ trên các tầng đất phẳng không thấm nước.

§XVI-3. VẬN TỐC THẤM. ĐỊNH LUẬT THẤM ĐÁCXI

Vì đất có đặc tính tổng quát là các hạt đất được sắp xếp không có quy luật và rất ngẫu nhiên, dẫn đến hiện tượng các thông số của các lỗ rỗng cũng có các giá trị rất ngẫu nhiên, nên không thể dùng các phương pháp lí thuyết và thực nghiệm để mô tả chuyển động của chất lỏng trong các "kênh" rỗng hoặc trong các tổ hợp các kênh đó. Do đó ta phải sử dụng đến giá trị vận tốc trung bình mặt cắt.

Trong nghiên cứu thấm ta xem vật thể rỗng và chất lỏng tạo thành một môi trường liên tục. Do đó diện tích được xem xét có kích thước lớn hơn nhiều lần kích thước hạt và có thể cho rằng dòng nước ngầm chảy đầy toàn bộ không gian của môi trường liên tục nói trên.

Ta dùng khái niệm vận tốc thấm :

$$u = \frac{Q}{\Omega} , \quad (3)$$

Trong đó Q - lưu lượng đi qua diện tích Ω của đất . Cần nhớ rằng $\Omega = \omega_R + \omega_H$ (trong đó ω_H - phần diện tích của Ω đã được các hạt cứng chiếm chỗ).

Vận tốc thực chảy qua các lỗ rỗng u_R lớn hơn vận tốc thấm $\frac{1}{m}$ lần .

Cần phải lưu ý là tích số giữa vận tốc thấm u và diện tích mặt cắt ngang Ω bằng lưu lượng thực chảy qua mặt cắt Ω .

Vận tốc thấm là hàm số liên tục của tọa độ (và cả của thời gian nếu chuyển động là không ổn định). Chuyển động của chất lỏng trong đất gặp rất nhiều sức cản do chất lỏng phải di chuyển trong những "kênh" có kích thước rất nhỏ, có độ cong rất lớn, có hình dạng bất kì, có độ nhám lớn và

có những yếu tố khác làm giảm đáng kể vận tốc thấm. Do vậy trong dòng thấm cho phép xem cột nước toàn phần bằng cột $z + \frac{P}{\rho g}$ nước đo áp, tức là có thể bỏ qua giá trị cột nước vận tốc.

Vì thế tỉ năng dòng chảy (cột nước toàn phần) :

$$H = z + \frac{P}{\rho g}$$

Dựa trên kết quả nghiên cứu dòng thấm trong cát, Đácxi đã xác định được rằng vận tốc thấm phụ thuộc bậc nhất vào độ dốc thủy lực :

$$u = kJ, \quad (4)$$

trong đó k - hệ số thấm .

Biểu thức (4) được gọi là *định luật thấm Đácxi* hoặc *định luật thấm bậc nhất*. Theo (4) tổn thất cột nước tỉ lệ bậc nhất với vận tốc thấm, tức là trạng thái chuyển động là tầng.

Vì : $J = -\frac{dH}{ds}$

nên :

$$u = kJ = -k \frac{dH}{ds} \quad (5)$$

Do $\frac{dH}{ds} < 0$ nên :

$$J = \frac{\left(z_1 + \frac{P_1}{\rho g} \right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\rho g} \right)}{l} = \frac{H_1 - H_2}{l}$$

§ XVI-4. HỆ SỐ THẤM

Hệ số thấm bằng vận tốc thấm khi $J = 1$. Hệ số đó phụ thuộc vào tính chất của môi trường thấm (hình dạng, kích thước; tình trạng sắp xếp của các hạt cứng v.v...), vào độ nhiễm mặn của đất và vào độ nhớt của chất lỏng (tức là vào nhiệt độ của nước). Hệ số thấm có thể thay dưới tác dụng của trường điện lực và trường nam châm.

Các giá trị gần đúng của hệ số thấm được ghi trong bảng 2 .

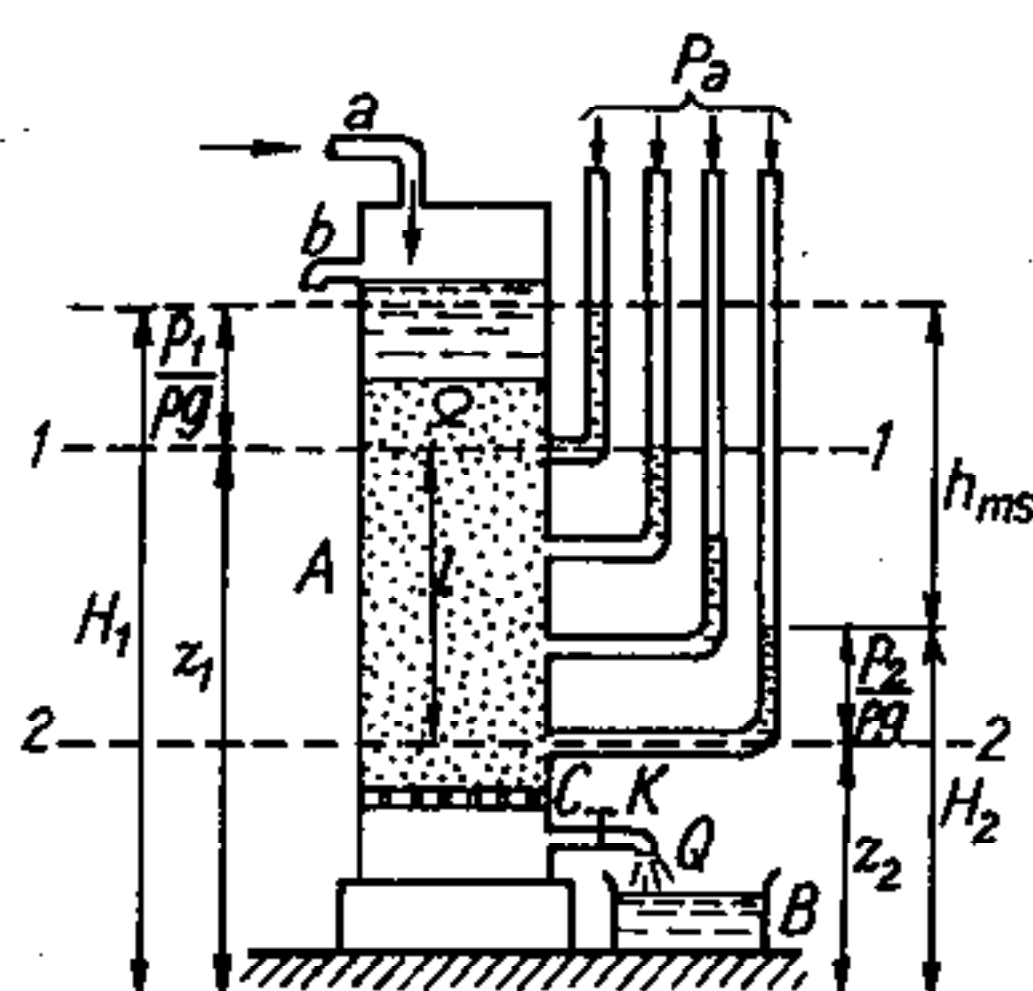
Hệ số thấm được xác định bằng giá trị trung bình của kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm và ngoài hiện trường trong cùng điều kiện.

Hệ số thấm của đất không dính được xác định bằng thiết bị thí nghiệm thấm Đácxi.

Bảng 2

Các loại đất	k, m/ ngày đêm
Sét	0,001
Á sét nặng	0,05
Á sét nhẹ	0,05 ÷ 0,1
Á cát	0,1 ÷ 0,5
Hoàng thổ	0,25 ÷ 0,5
Cát bụi	0,5 ÷ 1,0
Cát hạt nhỏ	1 ÷ 5
Cát hạt trung bình	5 ÷ 20
Cát hạt lớn	20 ÷ 50
Cuội	20 ÷ 150
Sỏi	100 ÷ 500
Sỏi lớn không lẫn cát	500 ÷ 1000 và lớn hơn

Thiết bị gồm một ống hình trụ A có một số lỗ để lắp các ống đo áp p vào. Nước theo ống a đi vào hình trụ được giữ ở cao trình không đổi nhờ một ống tràn b . Cách đáy một khoảng nhất định có đặt một lưới. Đất chứa đầy ống hình trụ đến một độ cao cho trước. Giữa lưới và đáy hình trụ đặt ống tháo nước có khoá K để tháo nước thấm qua đất ra ngoài. Nước chảy ra khỏi ống được tập trung vào bình B . Ta giữ cho chuyển động của nước thấm qua cột đất trong ống hình trụ được ổn định bằng cách giữ cho mực nước trong ống hình trụ không đổi, có nghĩa là đảm bảo cho lượng nước do ống a cung cấp cho cột đất vừa bằng lượng nước đưa ra ngoài qua khoá K . Nếu chú ý đến các ống đo áp lắp vào ống hình trụ thì ta thấy rằng mực nước trong các ống này ở những cao trình khác nhau: ống đo áp càng ở thấp thì mực nước ở trong ống càng thấp. Như vậy rõ ràng là khi nước chuyển động trong các lỗ rỗng của đất thì có tồn thất cột nước.



Thiết bị nghiên cứu thấm Đácxi

Sau khi chuyển động đã ổn định xác định lưu lượng Q và đọc cao trình mực nước trong các ống đo áp.

Theo (3) tính vận tốc thấm $u = \frac{Q}{\Omega}$ độ dốc thủy lực $J = \frac{h_{ms}}{l}$ (h_{ms} - hiệu số của hai cao trình mực nước trong các ống đo áp, đặt cách nhau một khoảng l). Từ (5) tìm được hệ số thấm k .

Trong một số loại đất chặt (sét và á sét chặt) dòng thấm chỉ xảy ra khi độ dốc thủy lực lớn hơn *gradien ban đầu* J_0 . Do đó thay cho (5) ta có :

$$u = -k \left(\frac{dH}{ds} + J_0 \right) = k(J - J_0) . \quad (6)$$

Đối với sét rất chặt $J_0 = 20 \div 30$.

Nghiên cứu thực nghiệm chứng tỏ rằng, định luật Dácxi không còn đúng nữa khi số Râyôn vượt quá một giá trị phân giới Re_{pg} . Vậy khi $Re < Re_{pg}$ dòng thấm tuân theo quy luật thấm bậc nhất (thấm tầng); khi $Re > Re_{pg}$ (thấm rối) - quy luật phụ thuộc giữa u và J sẽ khác. Kết quả thực nghiệm cho ta :

$$J = au + bu^2 \quad (7)$$

hoặc
$$u^2 = cJ^n , \quad (8)$$

Trong đó : a, b, c - các hệ số được xác định bằng thực nghiệm (hoặc lí thuyết cho từng trường hợp chuyển động của nước ngầm).

Nếu vận tốc quá nhỏ, có thể bỏ qua số hạng thứ hai trong (7) để trở về thấm tầng và ta có quy luật thấm Dácxi. Nếu vận đủ lớn (thấm rối), có thể bỏ qua số hạng au và biểu thức (7) có dạng giống công thức Sêdi :

$$u = k_R \sqrt{J} . \quad (9)$$

Công thức (8) dùng cả cho đá nứt nẻ với $n = 1 \div 1,75$.

Trong trường hợp, khi công thức (9) được sử dụng thì tổn thất cột nước tỉ lệ với bình phương vận tốc thấm.

Chặt chẽ hơn thì có thể nói rằng trạng thái thấm rối chỉ xảy ra khi các hạt có kích thước lớn, ví dụ khi nước chuyển động qua các khối đá đổ. Theo C.V.Izbas hệ số thấm rối k_R được tính bằng cm/s có dạng :

$$k_R = \left(20 - \frac{14}{d} \right) m \sqrt{d_c} ,$$

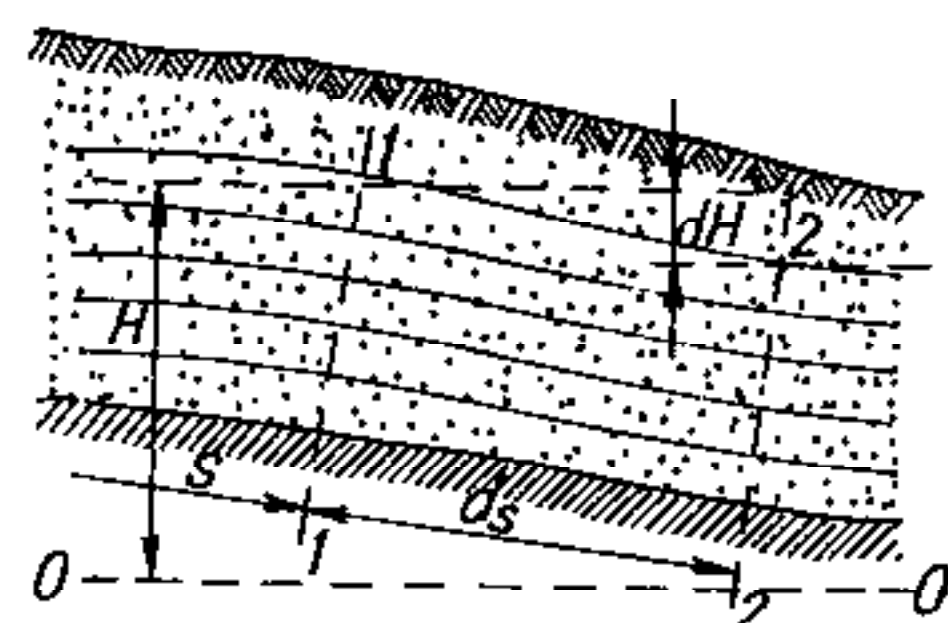
trong đó : d_c - đường kính trung của hình cầu có thể tích tương đương với viên đá, tính bằng cm ;

m - độ rỗng của đá đổ.

§ XVI-5. CHUYỂN ĐỘNG NƯỚC NGẦM THAY ĐỔI DẦN VÀ THAY ĐỔI ĐỘT NGỘT

Lấy hai mặt cắt 1-1 và 2-2 cách nhau một đoạn dl trong chuyển động thay đổi dần. Mặt cắt được là xem phẳng, còn áp suất trong các mặt phẳng đó được phân bố theo quy luật thủy tĩnh, tức là đối với điểm bất kì nào của mặt cắt ướt cột nước đều bằng :

$$H = z + \frac{p}{\rho g} = \text{const} .$$



Do đó, dọc theo bất kì một đường dòng nào từ vị trí mặt cắt này đến mặt cắt kia, cột nước đều giảm cùng một giá trị dH như nhau (giá trị âm). Đồng thời vì độ cong của đường dòng nhỏ, có thể bỏ qua (xem là chúng song song với nhau) nên khoảng cách ds giữa các mặt cắt được xem là không đổi không phụ thuộc vào việc tính từ đường dòng nào.

Vì thế trong chuyển động thay đổi dần và theo quy luật thấm bậc nhất (thấm tầng) độ dốc thủy lực $J = -\frac{dH}{ds}$ sẽ không đổi đối với bất kì điểm nào trên mặt cắt và vận tốc thấm cục bộ

$u = -k \frac{dH}{ds}$ tại tất cả các điểm của một mặt cắt ướt đã định cũng sẽ không thay đổi. Biểu đồ phân bố vận tốc trên mặt cắt ướt trong trường hợp này là hình chữ nhật.

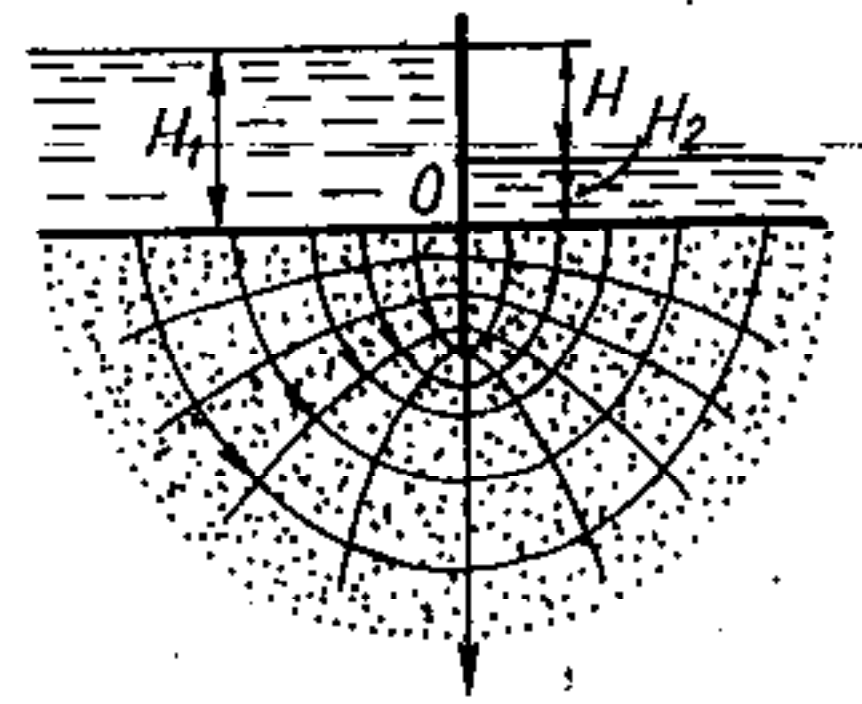
Vậy trong chuyển động thay đổi dần của nước ngầm vận tốc trung bình mặt cắt bằng vận tốc cục bộ :

$$u = v = kJ = -k \frac{dH}{ds} , \quad (10)$$

Trong đó : J - cũng là độ dốc của mặt thoáng, được đo dọc theo chiều chảy.

Phương trình (10) là công thức Dupuy. Đây là trường hợp riêng của công thức Darcy (5) và được dùng để tính toán dòng nước ngầm chuyển động thay đổi dần. Cần lưu ý rằng trong chuyển động này vận tốc v thay đổi dọc theo dòng chảy.

Trong dòng nước ngầm chuyển động thay đổi đột ngột, các đường dòng có độ cong lớn nên không thể xem là những đường thẳng, mặt cắt ướt vì luôn phải thẳng góc với các đường dòng tại tất cả các điểm nên không thể là mặt phẳng; khoảng cách giữa các mặt cắt ướt là khác dòng tại tất cả các điểm nên không thể là mặt phẳng; khoảng cách giữa các mặt cắt ướt là khác nhau tùy thuộc vào việc tính khoảng cách đó từ đường dòng nào. Do vậy các giá trị vận tốc cục bộ theo công thức (5) sẽ khác nhau, tức là biểu đồ vận tốc sẽ không phải là hình chữ nhật.



Nếu chuyển động của dòng nước ngầm là thay đổi đột ngột thì phải dùng đến các phương trình tổng quát của chuyển động và phải xét các đặc trưng dòng chảy như là hàm số liên tục của tọa độ.

Chuyển động đều của dòng nước ngầm - một trường hợp riêng của chuyển động thay đổi dần. Trong chuyển động đều đường dòng - thẳng, song song với đường đáy của tầng không thấm. Độ dốc thủy lực cố định đối với tất cả các mặt cắt ướt dọc theo chiều chảy. Tức là giống như trong lòng dẫn hở, độ dốc thủy lực bằng độ dốc đáy i ($J = i$).

Mặt thoáng của dòng nước ngầm chuyển động đều vì thế cũng song song với đáy giống như trong lòng dẫn hở.

Công thức (10) trong chuyển động đều của dòng nước ngầm có dạng :

$$v_0 = ki, \quad (11)$$

trong đó : v_0 - vận tốc trung bình trong chuyển động đều.

Lưu lượng trong chuyển động đều của dòng nước ngầm :

$$Q = \omega_0 v_0 = k\omega_0 i, \quad (12)$$

trong đó : ω_0 - diện tích mặt cắt ướt của chuyển động đều.

Ở đây cần lưu ý rằng ω_0 , cũng như tất cả các trường hợp khác, bao gồm cả diện tích lỗ rỗng và cả diện tích do các hạt cứng chiếm chỗ.

Vì dòng nước ngầm thường xảy ra trong các "lòng dẫn" có chiều rộng b lớn, nên về nguyên tắc có thể xem đây là bài toán phẳng. Do đó tỉ lệ lưu lượng (tính cho một đơn vị chiều rộng dòng chảy) khi $\omega_0 = bh_0$ sẽ là :

$$q = kh_0 i, \quad (13)$$

trong đó : h_0 - chiều sâu chuyển động đều.

Tương ứng, chiều sâu chuyển động đều được xác định bằng :

$$h_0 = \frac{q}{ki}. \quad (14)$$

§ XVI-6. PHƯƠNG TRÌNH VI PHÂN CHUYỂN ĐỘNG ỔN ĐỊNH KHÔNG ĐỀU THAY ĐỔI DẦN CỦA DÒNG NƯỚC NGẦM THEO QUY LUẬT THẨM BẬC NHẤT

Chuyển động ổn định không đều thay đổi dần của dòng nước ngầm theo quy luật thấm bậc nhất thường gặp dưới dạng không áp - là dòng chảy có mặt thoáng. Dùng công thức Dupuy (10) cho trường hợp này là thích hợp. Như trên đã nói, bỏ qua cột nước vận tốc, đối với tất cả các điểm của mặt cắt ướ́t ta có :

$$H = z + \frac{p}{\rho g} = a + h,$$

trong đó :

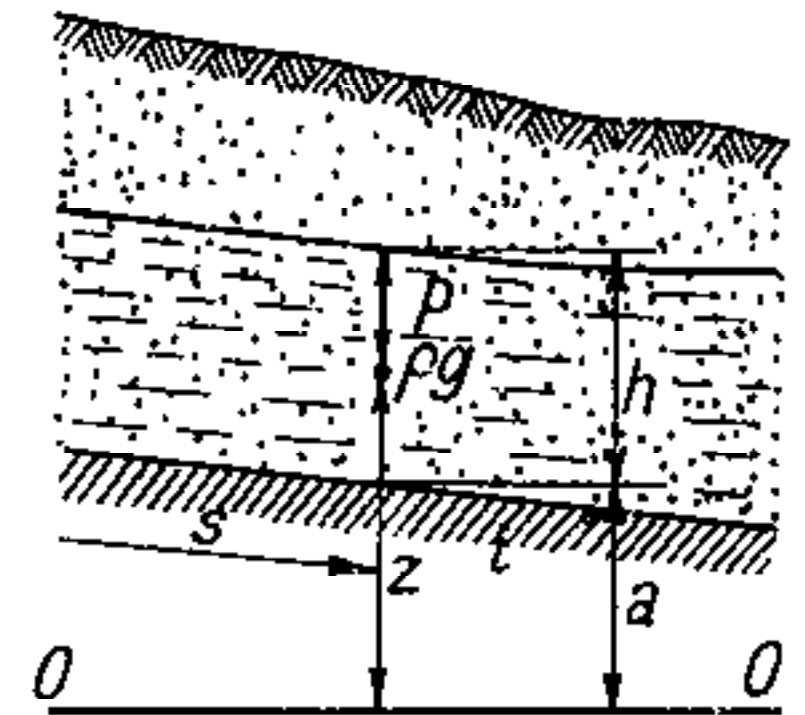
a - khoảng cách từ đáy đến mặt phẳng so sánh O-O;

h - chiều sâu dòng chảy .

Độ dốc thủy lực có thể viết như sau:

$$J = -\frac{dH}{ds} = -\frac{da}{ds} - \frac{dh}{ds} = i - \frac{dh}{ds},$$

trong đó : $i = -\frac{da}{ds}$ (khi s tăng, chiều cao a giảm).



Biểu thức (10) khi đó sẽ bằng :

$$v = k \left(i - \frac{dh}{ds} \right). \quad (15)$$

Phương trình lưu lượng của chuyển động này có dạng :

$$Q = \omega v = k\omega \left(i - \frac{dh}{ds} \right). \quad (16)$$

Đối với chuyển động đều khi $h_0 = \text{const}$ và $\left(\frac{dh}{ds} \right) = 0$

$$Q = k\omega_0 i.$$

Nhân hai vế phương trình (16) cho độ dốc dương bất kì i' , ta có :

$$Qi' = k\omega i' \left(i - \frac{dh}{ds} \right).$$

Ta kí hiệu $Q' = k\omega i'$ là lưu lượng của dòng đều chảy qua diện tích mặt cắt ướ́t ω dưới độ dốc i' . Lưu lượng này khác nhau ở mỗi mặt cắt.

Ta có :

$$Qi' = Q' \left(i - \frac{dh}{ds} \right),$$

do đó :

$$\frac{dh}{ds} = i' \left(\frac{i}{i'} - \frac{Q}{Q'} \right). \quad (17)$$

Phương trình (17) được dùng để phân tích dạng đường cong mặt thoáng của dòng nước ngầm tại mặt cắt ngang bất kì.

Để có bài toán phẳng, ta xét dòng nước ngầm trong phạm vi mặt cắt ngang hình chữ nhật có chiều rộng đủ lớn.

Đối với bài toán phẳng :

$$q = kh \left(i - \frac{dh}{ds} \right). \quad (18)$$

Biết rằng tỉ lưu lượng có thể viết theo (13) nên đối với độ dốc đáy dương ($i > 0$) ta có :

$$\begin{aligned} kh_0 i &= kh \left(i - \frac{dh}{ds} \right) \\ \frac{dh}{ds} &= i' \left(\frac{h - h_0}{h} \right) = i \left(1 - \frac{h_0}{h} \right) \end{aligned} \quad (19)$$

hoặc :

$$ds = \frac{hdh}{i(h - h_0)}. \quad (20)$$

Với độ dốc ngược ($i < 0$) ta dùng chiều sâu h'_0 , là chiều sâu của dòng chảy đều với lưu lượng q chảy trên tầng không thấm với độ dốc $i' = -i$. Vì vậy :

$$q = -kh \left(i' + \frac{dh}{ds} \right); \quad (21)$$

$$\frac{dh}{ds} = -i' \left(1 + \frac{h'_0}{h} \right) \quad (22)$$

hoặc :

$$ds = -\frac{h'_0}{i'} \frac{hdh}{h + h'_0}. \quad (23)$$

Với độ dốc bằng không ($i = 0$) từ (18) ta được :

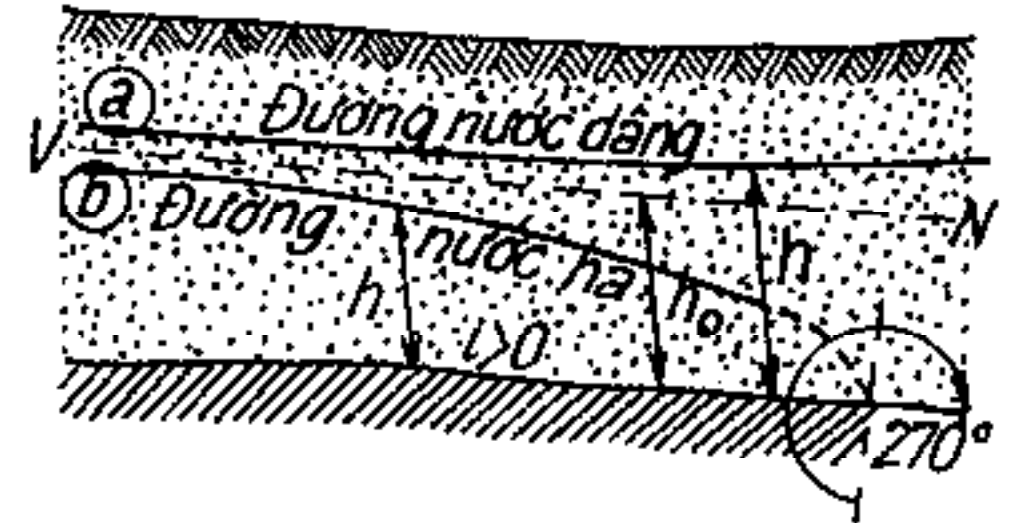
$$q = -kh \frac{dh}{ds} ; \quad (24)$$

$$\frac{dh}{ds} = -\frac{q}{kh} ; \quad (25)$$

$$ds = -kh \frac{dh}{q} . \quad (26)$$

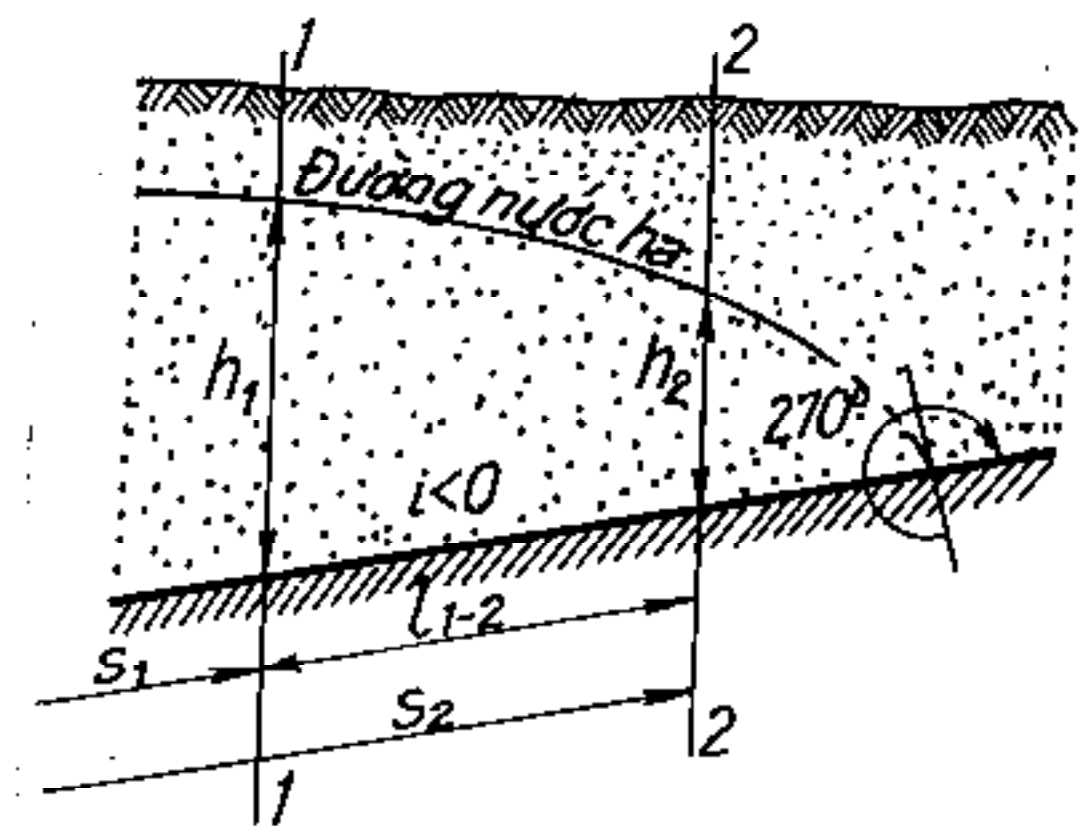
Sau khi tích phân các phương trình từ (20) đến (26) ta sẽ được các biểu thức để xác định chiều dài của đường cong mặt thoáng.

Chuyển sang xem xét các dạng đường cong mặt thoáng - đường bão hoà .



Với độ dốc dương của tầng không thấm ($i > 0$) có hai khu vực: khu vực a nằm cao hơn đường chảy đều và khu vực b , có chiều sâu $h < h_0$. Trong khu vực a khi $h > h_0$ ta có đường nước dâng. Cũng như trong lòng dẫn hở, dọc theo chiều chảy đường mặt nước có xu thế tiến đến đường nằm ngang, còn ngược theo chiều chảy đường mặt nước tiệm cận với đường mặt nước của chuyển động đều n-n. Trong khu vực b khi $h < h_0$, $\frac{dh}{ds} < 0$ và đường mặt nước là đường nước hạ. Ngược theo chiều chảy đường mặt nước tiệm cận với đường mặt nước của chuyển động đều n-n. Dọc theo chiều chảy khi $h_0 \rightarrow 0$ sẽ xảy ra hiện tượng đột biến $\frac{dh}{ds} \rightarrow -\infty$ và đường nước hạ tạo với đường đáy của tầng không thấm một góc 270° . Tại vùng này tính chất thay đổi dần đã không còn nữa.

Với độ dốc ngược ($i < 0$), $\frac{dh}{ds} < 0$, chỉ có một dạng đường mặt nước - đường nước hạ. Ngược theo chiều chảy khi $h_0 \rightarrow \infty$ đường nước hạ tiệm cận với đường nằm ngang. Khi $h_0 \rightarrow 0$ lặp lại hiện tượng đột biến $\frac{dh}{ds} \rightarrow -\infty$ và đường nước hạ tạo với đường đáy của tầng không thấm một góc 270° .



Với độ dốc bằng không $\frac{dh}{ds} < 0$, chỉ có một đường mặt nước - đường nước hạ.

§ XVI-7. TÍNH TOÁN ĐƯỜNG NƯỚC DÂNG VÀ NƯỚC HẠ TRONG CHUYỂN ĐỘNG TẦNG CỦA DÒNG THẨM

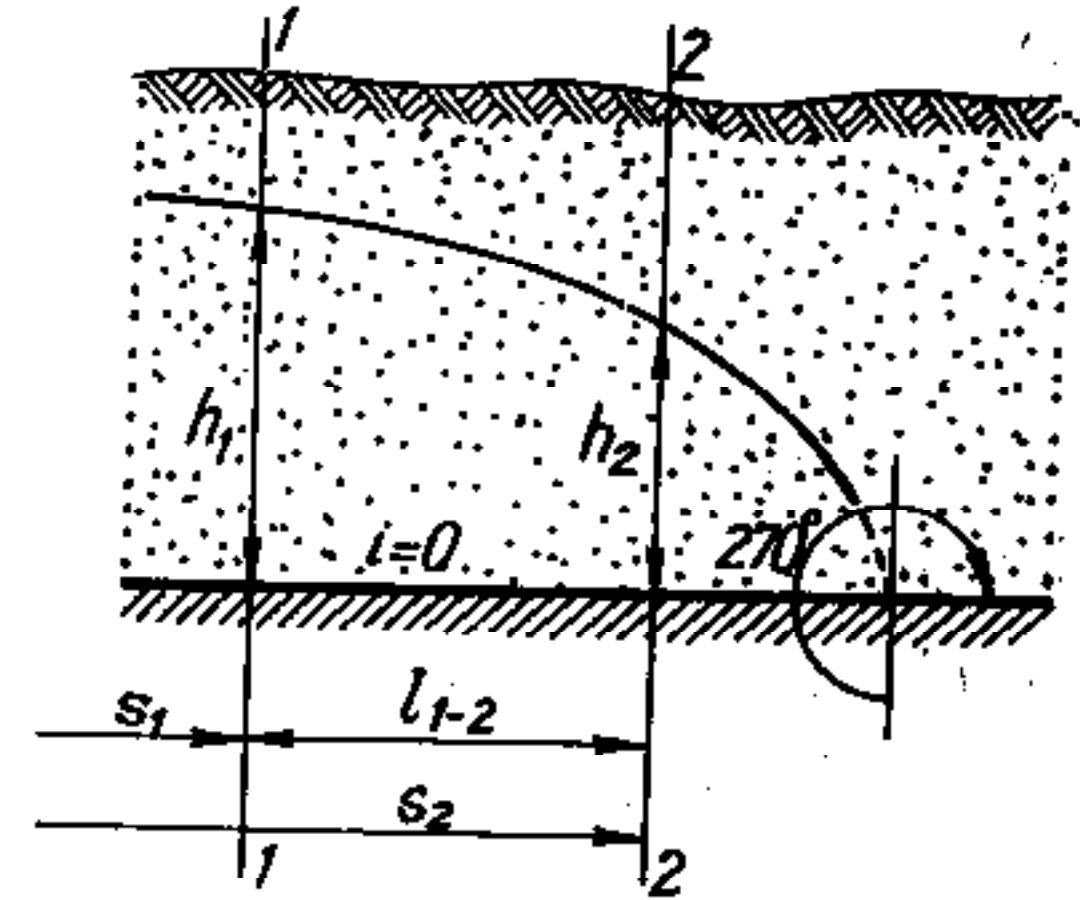
Tích phân các phương trình (20),(23),(26). Dùng ký hiệu $\eta = \frac{h}{h_0}$ hoặc $\eta = \frac{h}{h_0}$

Vì vậy $dh = h_0 d\eta$.

Đối với $i > 0$:
$$ds = \frac{h_0}{i} \frac{\eta}{\eta - 1} d\eta;$$

Đối với $i < 0$:
$$ds = \frac{h_0}{i} \frac{\eta}{\eta - 1} d\eta;$$

Đối với $i=0$:
$$ds = \frac{k}{q} h dh.$$



Sau khi tích phân:

+ Đối với $i > 0$: khi $\eta > 1$ (đường nước dâng)

$$l_{1-2} = \frac{h_0}{i} \left(\eta_2 - \eta_1 + \ln \frac{\eta_2 - 1}{\eta_1 - 1} \right); \quad (27)$$

khi $\eta < 1$ (đường nước hạ)

$$l_{1-2} = \frac{h_0}{i} \left(\eta_2 - \eta_1 + \ln \frac{1 - \eta_2}{1 - \eta_1} \right); \quad (28)$$

+ Đối với $i < 0$:

$$l_{1-2} = \frac{h_0}{|i|} \left(\eta_1 - \eta_2 + \ln \frac{1 + \eta_2}{1 + \eta_1} \right); \quad (29)$$

+ Đối với $i = 0$:

$$l_{1-2} = \frac{k}{2q} (h_1^2 - h_2^2), \quad (30)$$

Theo (30) tỉ lưu lượng trong chuyển động không đều thay đổi dần của dòng nước ngầm trên tầng không thấm có độ dốc bằng không sẽ là:

$$q = \frac{k}{2l} (h_1^2 - h_2^2), \quad (31)$$

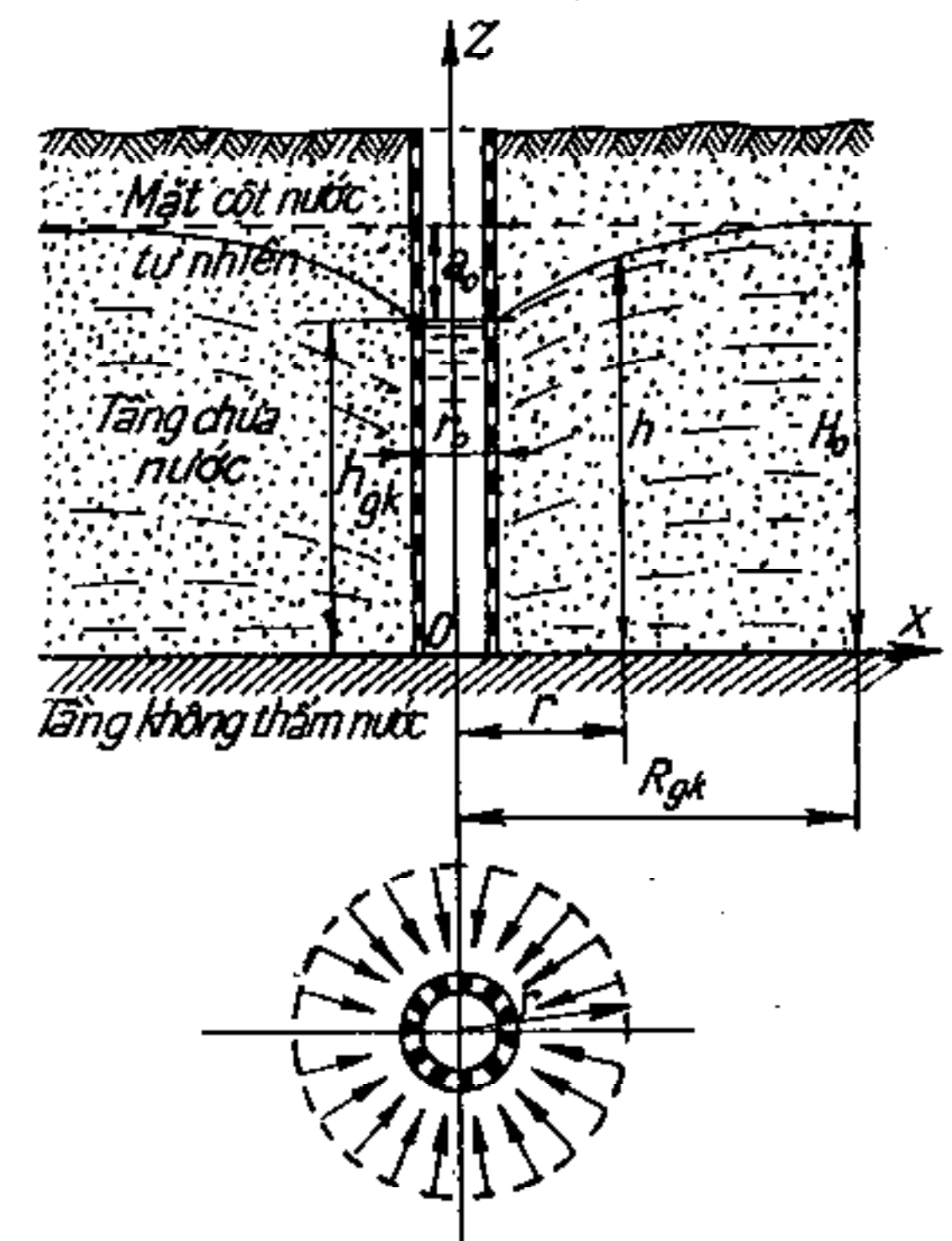
trong đó l - khoảng cách giữa hai mặt cắt có chiều sâu là h_1 và h_2 .

§ XVI-8. NƯỚC CHẢY ĐẾN HỐ KHOAN ĐÚNG (GIẾNG)

Giếng khoan thu nước hoàn thiện. Ta xét trường hợp chuyển động không áp thay đổi dần của dòng nước ngầm đến giếng thu hoàn thiện trong tầng chứa nước có đáy không thấm nằm ngang. Nước chảy đến giếng theo hướng xuyên tâm qua thành giếng thấm nước trên toàn bộ chiều cao của giếng khoan với bán kính là r_{gk} .

Chiều dày của tầng chứa nước không áp là H_0 . Khi giếng chưa hoạt động (chưa bơm), mực nước trong giếng khoan có cùng cao trình như mực nước ngầm tự nhiên trong tầng chứa nước.

Sau khi bơm, mực nước trong và tại khu vực quanh giếng khoan hạ thấp dần, hình thành một mặt thoáng cong quanh giếng khoan được gọi là *phễu bão hoà*. Đối với trường hợp tầng không thấm nằm ngang và đất đồng chất, phễu là một mặt cong được tạo nên bằng cách quay đường cong bão hoà xung quanh trục thẳng đứng (trục giếng).



Ở thời đoạn đầu sau khi bơm, chuyển động vẫn là không ổn định. Khi lưu lượng được bơm ra từ giếng và lưu lượng chảy vào giếng đã được cân bằng, phải thêm một thời gian ngắn nữa chuyển động mới trở nên ổn định và lúc đó mực nước trong giếng cũng như trên phễu bão hoà mới không thay đổi.

Vì chuyển động là thay đổi dần nên trong phạm vi một mặt cắt của dòng nước ngầm đang xét, độ dốc thuỷ lực không thay đổi, nhưng độ dốc đó lại khác nhau đối với các mặt cắt khác nhau.

Các mặt cắt ước là các mặt trụ xung quanh với chiều cao h thay đổi, cách trục của giếng khoan một giá trị bán kính r thay đổi tương ứng. Vậy

độ dốc thuỷ lực $J = \frac{dh}{dr}$ còn $\omega = 2\pi rh$.

Do đó lưu lượng Q :

$$Q = k\omega J = 2\pi rh \frac{dh}{dr} \quad (32)$$

Chia biến số và tích phân trong giới hạn r_{gk} đến r và từ h_{gk} đến h , khi $Q = \text{const}$ và $k = \text{const}$ ta được:

$$h^2 - h_{gk}^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{r}{r_{gk}}, \quad (33)$$

trong đó : h_{gk} - chiều sâu mực nước trong giếng .

Có thể xác định được toạ độ của đường mặt nước theo (33). Trên bất kì mặt phẳng thẳng đứng nào cắt khu vực của giếng theo đường kính ta cũng đều có hình dạng mặt thoáng như nhau - hình dạng đường bão hoà lồi.

Ta dùng khái niệm *bán kính ảnh hưởng của giếng* R_{gk} để chỉ khoảng cách từ tâm giếng đến điểm mà từ đó đường bão hoà bắt đầu có cùng cao trình như mực nước ngầm tự nhiên trong tầng chứa nước, tức là khi $r = R_{gk}$ thì $H_0 = \text{const}$. Từ (32) ta được :

$$Q = 1,36k \frac{H_0^2 - h_{gk}^2}{\lg \frac{R_{gk}}{r_{gk}}}. \quad (34)$$

Như vậy bằng hàng loạt các giá trị H_0 , h_{gk} (hoặc a_{gk}), r_{gk} và k của đất có thể xác định được bán kính ảnh hưởng :

$$R_{gk} = 3000 a_0 \sqrt{k}, \quad (35)$$

trong đó : a_0 - độ hạ thấp mực nước khi bơm, tính bằng m ;

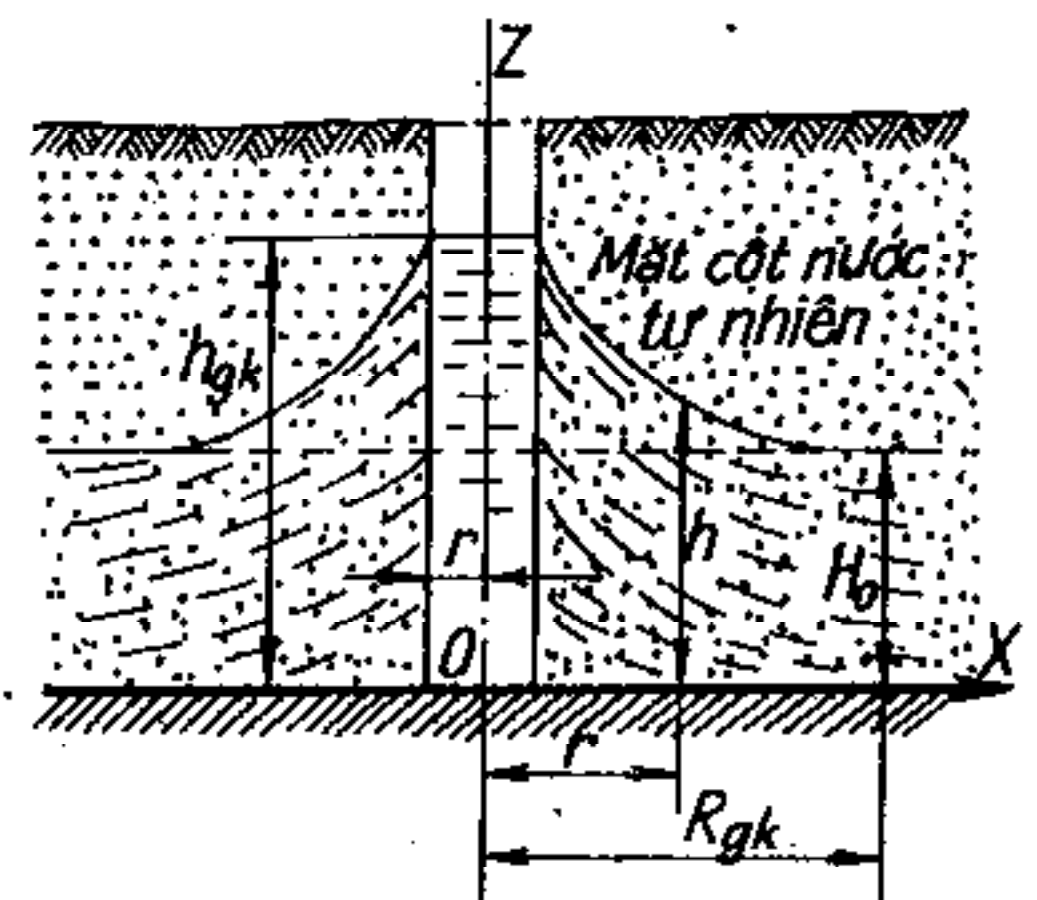
k - hệ số thấm, tính bằng m/s .

Trong tính toán sơ bộ bán kính ảnh hưởng của giếng được lấy như sau : đối với cát hạt nhỏ 100 ÷ 200; cát hạt trung bình 250 ÷ 500; cát hạt lớn 700 ÷ 1000; sỏi hạt nhỏ 500 ÷ 600; sỏi hạt lớn 1500 ÷ 3000 m.

Giếng tiêu (tập trung) nước hoàn thiện. Loại giếng được dùng để thoát nước vào tầng chứa nước. Chiều sâu mực nước trong giếng h_{gk} lớn hơn là mực nước ngầm tự nhiên trong tầng chứa nước H_0 , vì vậy đường cong bão hoà là đường cong lõm. Việc phân tích cũng dựa trên các cơ sở như đối với giếng thu. Nhưng biểu thức viết cho độ dốc thuỷ lực có dạng :

$$J = -\frac{dh}{dr},$$

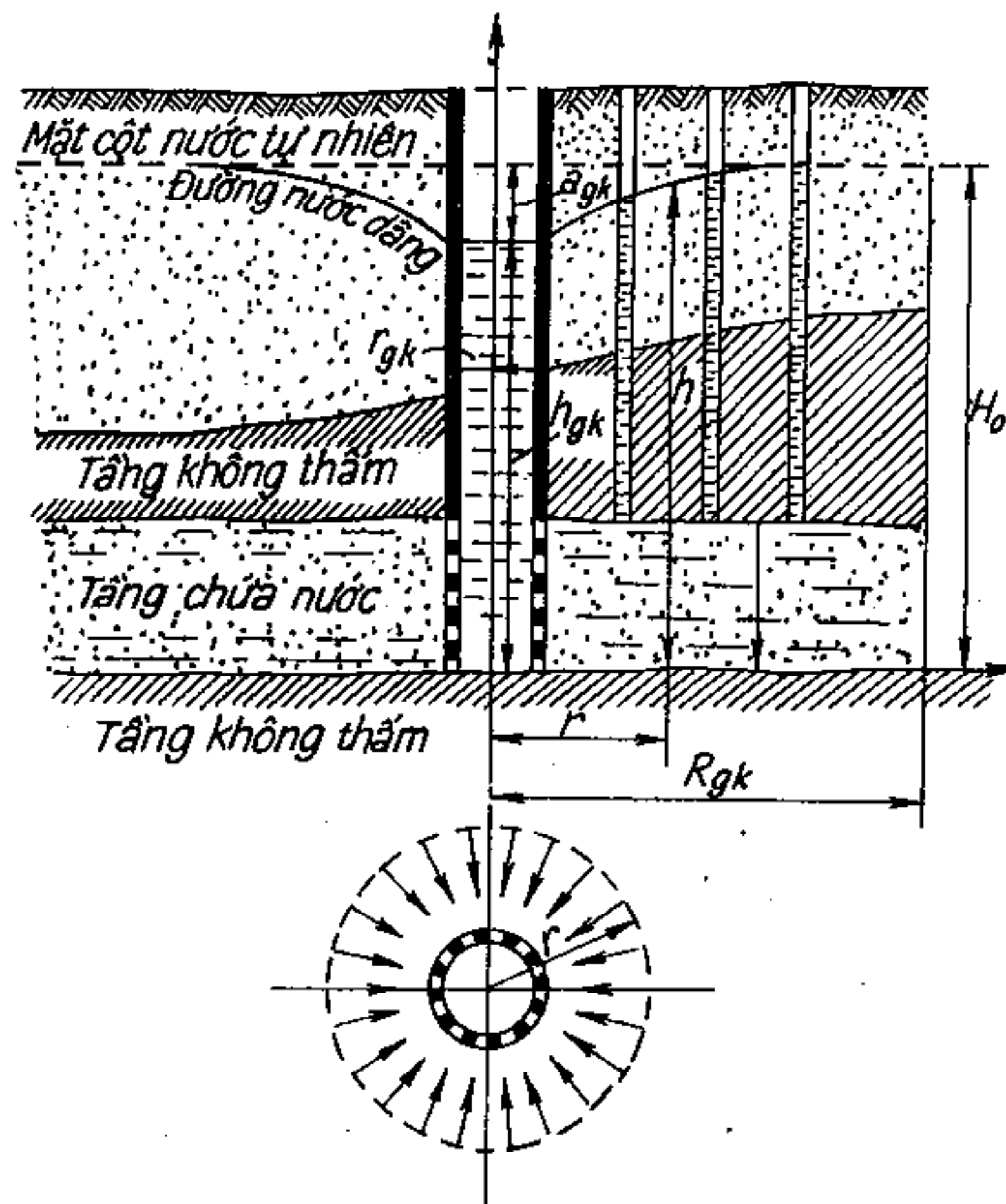
vì khi h giảm, r sẽ tăng tương ứng. Do đó lưu lượng nước thoát sẽ bằng :



$$Q = 1,36k \frac{h_{gk}^2 - H_0^2}{lg \frac{R_{gk}}{r_{gk}}} \quad (36)$$

Giếng có áp hoàn thiện. Đây là loại giếng được đào lần lượt qua tầng chứa nước bên trên, qua tầng đất không chứa nước, qua tầng chứa nước bên dưới và đến tầng đất không chứa nước dưới cùng. Nước ngầm được chứa đầy trong tầng đất chứa nước và chịu áp suất lớn hơn áp suất khí quyển. Khi giếng không hoạt động (không bơm) mực nước ngầm tự nhiên cách đáy tầng không chứa nước bên dưới một khoảng cách H_0 , đây cũng chính là cột nước tự nhiên của dòng nước ngầm. Có thể gặp trường hợp áp suất trong tầng chứa nước lớn đến mức mặt phẳng chứa cột nước tự nhiên nằm cao hơn cao trình mặt đất (giếng phun hoặc là giếng tự phun).

Ở đây các đường biên trên và dưới của tầng chứa nước là phẳng và nằm ngang. Do đó có thể xem là chiều dày của tầng đất chứa nước cố định và bằng t .



Bằng cao trình của mực nước trong giếng có thể xác định được vị trí của phễu bão hoà.

Cũng như đối với dòng thấm không áp chảy đến giếng, ban đầu chuyển động là không ổn định, chỉ qua một thời đoạn nhất định chuyển động mới trở nên ổn định, mực nước trong giếng và dạng bề mặt của phễu bão hoà mới không thay đổi; lưu lượng được bơm đi và lưu lượng đến mới cân bằng. Các mặt cắt ướt lúc này là các mặt xung quanh của các hình trụ $\omega = 2\pi r t$. Độ dốc thuỷ lực $J = \frac{dh}{dr}$ và cố định ở mỗi mặt cắt ướt do chuyển động là thay đổi dần. Vậy phương trình lưu lượng có thể viết dưới dạng :

$$Q = 2k\pi r t \frac{dh}{dr} \quad (37)$$

Vì các đại lượng Q , k , và t trong trường hợp này cố định nên sau khi chia biến số và tích phân, ta được :

$$h - h_{gk} = 0,37 \frac{Q}{kt} \lg \frac{r}{r_{gk}},$$

trong đó h_{gk} - chiều sâu mực nước trong giếng ;

r - khoảng cách theo bán kính tính đến mặt cắt có cột nước là h ;

r_{gk} - bán kính của giếng.

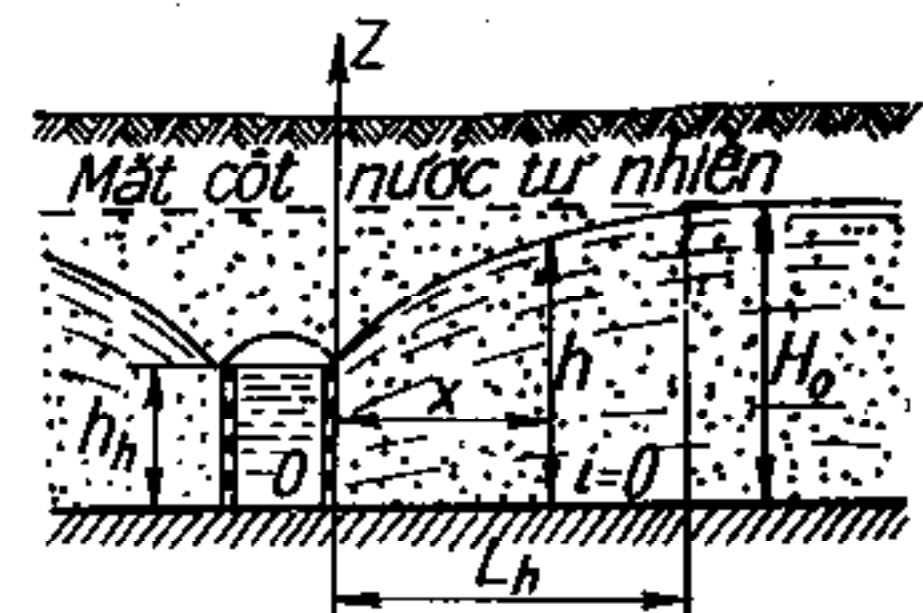
Lưu lượng của giếng khi lấy $r = R_{gk}$ sẽ bằng :

$$Q = 2,73 \frac{ktH_0 - h_{gk}}{\lg \frac{R_{gk}}{r_{gk}}} \quad (38)$$

§XVI-9. CÔNG TRÌNH TẬP TRUNG NƯỚC NẴM NGANG

Hầm thu nước . Giới hạn việc xem xét hầm tập trung nước trong dòng nước ngầm chuyển động thay đổi dần trên tầng chứa nước nằm ngang. Đáy hầm được đặt trên tầng không thấm. Tỉ lưu lượng chảy vào hầm từ hai phía bằng hai lần tỉ lưu lượng được xác định theo (31) . Phương trình mặt thoáng có dạng :

$$h^2 - h_h^2 = \frac{2q}{k} x ,$$



trong đó : x - khoảng cách từ thành bên của hầm đến mặt phẳng có chiều sâu h tương ứng.

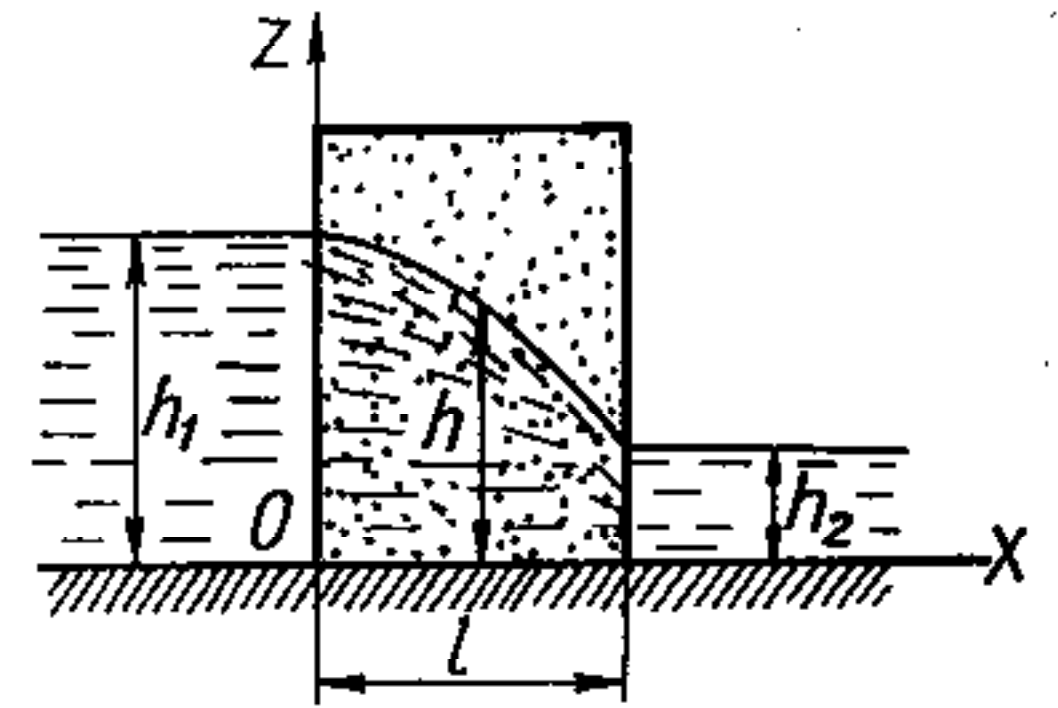
Nếu kí hiệu L_h để chỉ *chiều dài ảnh hưởng của đường hầm* thì với $x = L_h$ có thể xác định được tỉ lưu lượng chảy đến hầm từ hai phía bằng :

$$q = \frac{k(H_0^2 - h_h^2)}{L_h}$$

Lưu lượng, chảy từ hai phía vào hầm với chiều dài B :

$$Q = \frac{kB(H_0^2 - h_h^2)}{L_h} \quad (39)$$

Đê chắn hình chữ nhật. Nghiên cứu một đê chắn bằng đất đồng chất có mặt cắt hình chữ nhật được đặt trên nền không thấm nằm ngang.

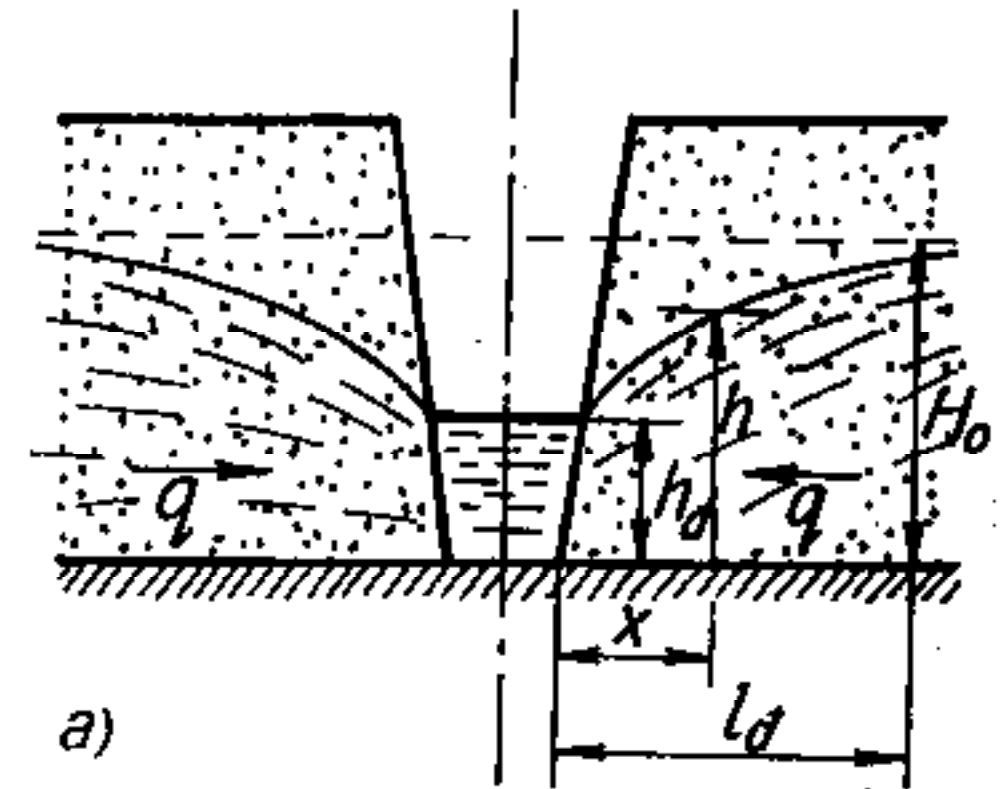


Tường thẳng đứng được giữ bằng kết cấu bao che. Nước thấm qua toàn bộ mặt đứng với hệ số thấm k không đổi. Cũng như với hầm tập trung nước, lưu lượng trong trường hợp này được xác định bằng :

$$q = \frac{k}{2l}(h_1^2 - h_2^2) \quad (40)$$

§XVI-10. ĐƯỜNG THOÁT NƯỚC NẪM NGANG

Đường thoát nước nằm ngang thuộc loại kênh hở (hình a) hoặc là ống được đặt trong đất (hình b). Kênh hoặc ống đều có độ dốc tối thiểu đủ để thoát lượng nước theo yêu cầu.



Hình a

Ta nghiên cứu trường hợp không có nước thấm trên mặt đất và với các giả thiết sau : tầng không thấm nằm gần mặt đất và cũng là cao trình của đáy kênh hoặc đáy ống thoát nước; dòng nước ngầm chảy đến kênh hoặc ống thoát là phẳng và

thay đổi dần. Nếu lấy $\omega = h.1$, còn độ dốc thủy lực $J = \frac{dh}{dx}$, thì tỉ lưu lượng, chảy từ một phía tính cho một đơn vị chiều dài kênh hoặc ống :

$$q = k\omega ; \omega J = kH \frac{dh}{dx} \quad (41)$$

Dùng kí hiệu L_d để chỉ chiều dài ảnh hưởng của đường thoát nước, sau khi tích phân ta được tỉ lưu lượng chảy đến từ một phía :

$$q = k \frac{H_0^2 - h_d^2}{2L_d}$$

Vậy tỉ lưu lượng đến từ hai phía :

$$2q = k \frac{H_0^2 - h_d^2}{L_d}, \quad (42)$$

trong đó L_d đối với kênh được tính từ điểm cuối của đáy kênh.

Khi tầng chứa nước nằm sâu, theo A.H.Côtchiacôp, tỉ lưu lượng chảy đến đường thoát nước không hoàn thiện từ một phía bao gồm hai phần : tỉ lưu lượng đến từ phần đất nằm cao hơn đáy đường dẫn q_1 và tỉ lưu lượng đến từ phần đất nằm thấp hơn q_2 (hình c). Với phần một (phần cao hơn đáy) khi

$\omega = h.l$ và $J = \frac{dh}{dx}$, tỉ lưu lượng được xác định theo (41):

$$q_1 = kH \frac{dh}{dx}$$

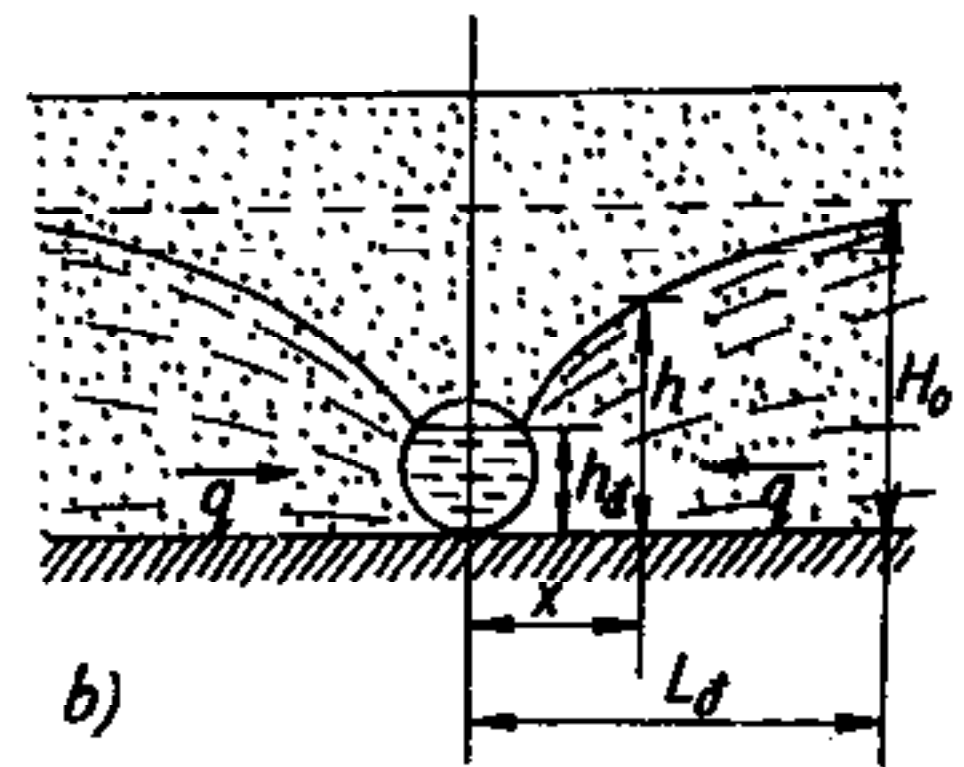
Đối với phần hai (phần thấp hơn đáy), có thể xem nước chảy đến theo hướng bán kính, còn mặt cắt ướt là phần diện tích mặt bên ứng với bán kính thay đổi x của các mặt trụ. Do đó, diện tích mặt cắt ướt có thể viết như sau: $\omega = \alpha.x.l$ (α - cung tròn có bán kính là x , được đo bằng radian). Khi tầng không thấm nằm rất sâu $\alpha = \frac{\pi}{2}$

$$q_2 = -k \frac{\pi}{2} x \frac{dh}{dx}$$

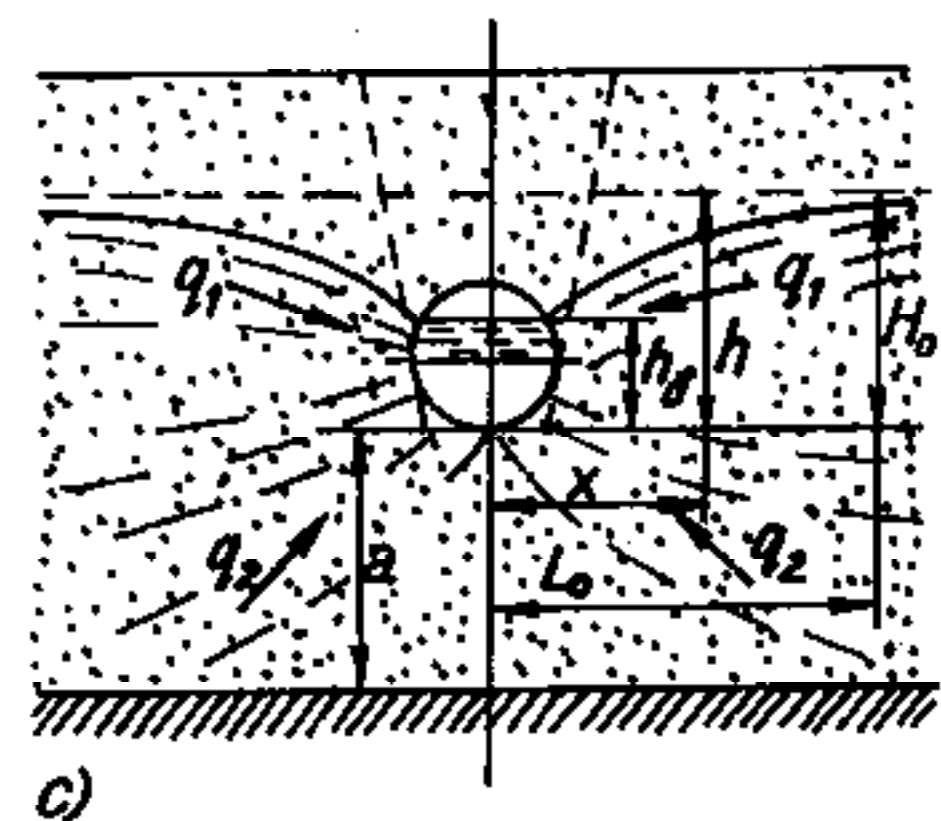
Vậy tỉ lưu lượng từ một phía bằng :

$$q_2 = k \frac{\pi}{2} \frac{\beta'}{90} \frac{dh}{dx}$$

Trong đó : $\sin \beta' = \frac{h}{x}$, ta có độ dốc đo áp của đường mặt nước chính là độ dốc đường bão hoà ; các giá trị của $\sin \beta'$: với cát hạt lớn 0,003 ÷ 0,006; cát 0,006 ÷ 0,02; á cát 0,02 ÷ 0,05; á sét 0,05 ÷ 0,1; sét 0,1 ÷ 0,15; than bùn 0,02 ÷ 0,12.



Hình b



Hình c

Tỷ lưu lượng tổng cộng từ một phía bằng :

$$q = q_1 + q_2 = k \frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{\beta}{90} \right) x \frac{dh}{dx}$$

Tích phân trong giới hạn từ $x = \frac{d}{2}$ đến $x = L_d$ và từ h_d đến H_0 và bỏ qua số hạng $\frac{\beta}{90}$ do quá nhỏ, ta được tỷ lưu lượng từ cả hai phía đối với đường thoát nước không hoàn thiện.

$$2q = 1,36 \frac{k(H_0 - h_d)}{\lg \frac{2L_d}{d}}, \quad (43)$$

trong đó d - đường kính của ống thoát hoặc chiều rộng đáy của kênh thoát, tính bằng m;

L_d - chiều dài ảnh hưởng của đường thoát nước, tính bằng m.

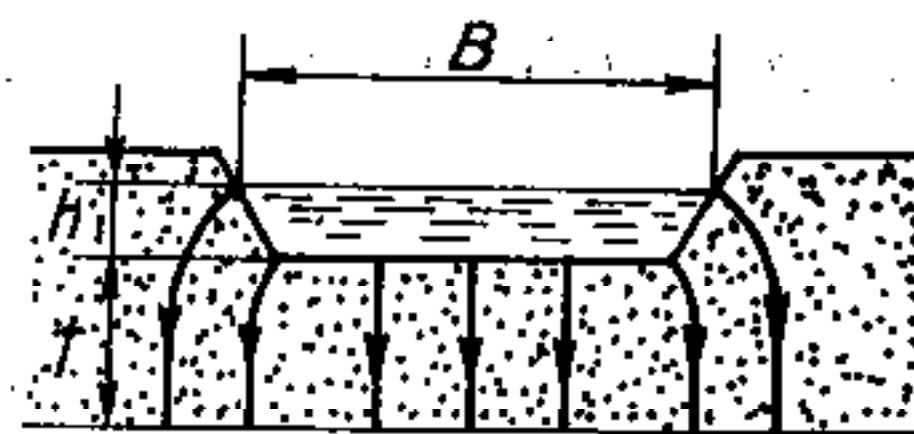
Khi tầng không thấm nước không sâu lắm (tức là khoảng cách a từ đáy ống thoát nước đến tầng không thấm nhỏ)

$$q = \frac{k(H_0 - h_d)}{L_d} \left(a + \frac{H_0 + h_d}{2} \right). \quad (44)$$

Cần lưu ý sơ đồ tính nói trên chỉ là gần đúng. Trong các điều kiện cụ thể để tính ống thoát nước nằm ngang cần phải xét đến hàng loạt các yếu tố (vị trí đường cong bão hòa, khi nó thể nằm cao hơn đỉnh của ống; các đặc điểm kết cấu của ống và của thiết bị lọc v.v...).

§XVI-11. THẤM TỪ KÊNH

Nước thấm từ kênh là lượng tổn thất nước chủ yếu. Tổn thất nước do thấm phụ thuộc vào kích thước kênh, và hệ số thấm của đất làm kênh và đất nền kênh, vào chiều sâu của dòng nước ngầm trong tầng chứa nước. Thấm từ kênh hoạt động thường xuyên khác với kênh hoạt động theo chu kì do loại kênh sau có các thông số định lượng về tổn thất khác nhau.



Nếu nước ngầm nằm tương đối sâu và kênh hoạt động theo chu kì thì toàn bộ nước thấm đi từ trên xuống và độ dốc thủy lực J gần bằng một.

Nếu tầng không thấm hoặc là dòng nước ngầm nằm không sâu, kênh hoạt động thường xuyên hoặc trong một thời đoạn dài thì dòng nước thấm bị phân tán và độ dốc thủy lực J nhỏ hơn một rất nhiều.

Theo N.N.Pavlôpxki tỉ lưu lượng thấm từ kênh chảy tự do (không có nước dềnh):

$$q = k(B + 2h) \quad (45)$$

Theo V.V.Vedernhicôp khi dòng nước ngầm nằm sâu, tức là thấm tự do :

$$q = k(B + \alpha h), \quad (46)$$

trong đó

B - chiều rộng mặt thoáng của kênh, tính bằng m;

h - chiều sâu mực nước trong kênh, m ;

α - hệ số, phụ thuộc vào hệ số mái dốc và chiều rộng mặt thoáng tương đối của kênh B/h

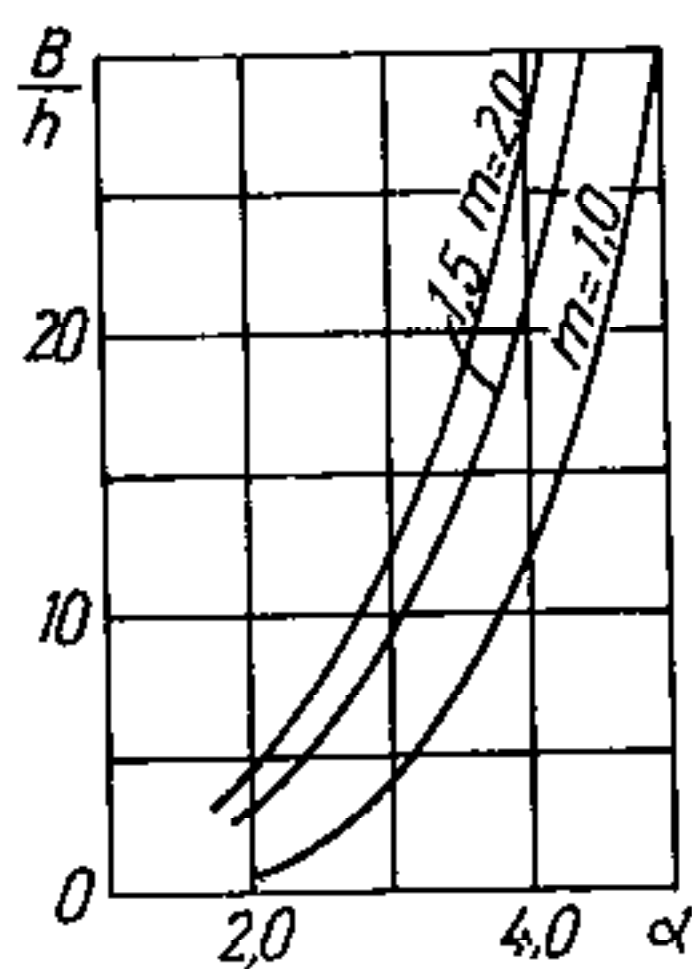
Nếu tính từ đáy kênh ở chiều sâu T có một lớp đất thấm nước mạnh, thoát nước tốt, tức là không có nước dềnh thì :

$$q = k(B + \beta h),$$

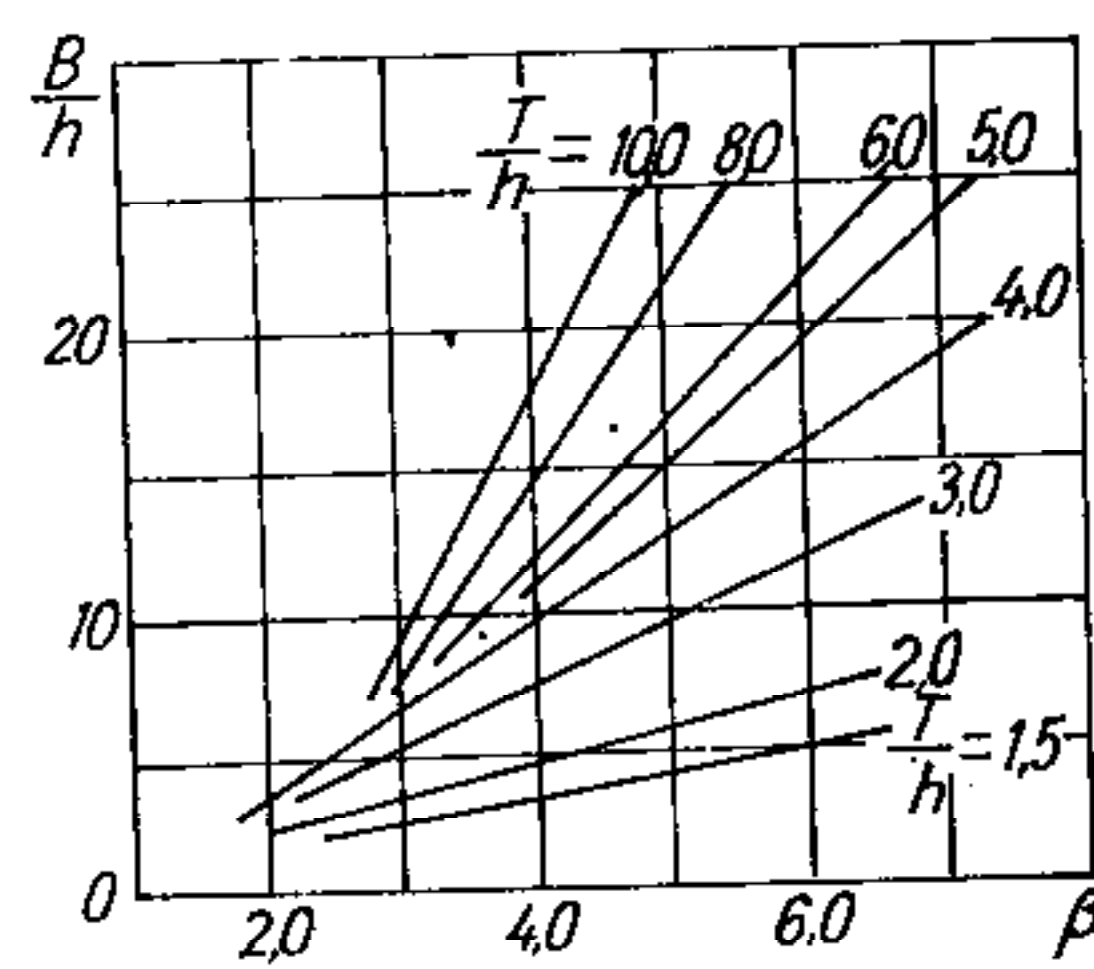
trong đó β - hệ số, phụ thuộc vào $\frac{B}{h}$ và $\frac{T}{h}$. Đối với hệ số mái dốc $m = 1,5$ quan hệ giữa hai tỷ số nói trên được biểu thị trên hình b.

Khi kênh làm việc theo chu kì, tổn thất nước từ kênh lớn hơn là khi kênh làm việc liên tục .

Khi đáy kênh găn lớp đất không thấm và dòng nước ngầm dưới kênh gặp nước dềnh (thấm cưỡng bức) thì lưu lượng nước thấm từ kênh nhỏ hơn là thấm tự do. Thấm cưỡng bức được nghiên cứu trong một giáo trình riêng.



Hình a



Hình b

Nếu mực nước ngầm và mực nước trong kênh cùng cao trình, thì $q = 0$. Nếu mực nước ngầm nằm cao hơn mực nước trong kênh thì nước ngầm sẽ chảy vào kênh và lưu lượng chảy trong kênh sẽ tăng một lượng tương ứng là q.