

Chương 4

THẨM QUA ĐẬP ĐẤT ĐÁ

Biên soạn: GS. TSKH. Trịnh Trọng Hân

4.1. TỔNG QUÁT

Nội dung nghiên cứu tính toán thẩm qua đập đất đá là xác định các yếu tố sau:

- Lực tác dụng cơ học của dòng thẩm lên đập;
- Vị trí mặt bão hòa hay đường bão hòa;
- Vị trí điểm dòng thẩm đi ra mái dốc hạ lưu hoặc đi vào vật thoát nước;
- Lưu lượng thẩm;
- Độ cao mao dẫn trên mặt tự do (mặt bão hòa) của dòng thẩm;
- Thành phần hoá của đất và của nước thẩm.

Thông qua kết quả tính toán thẩm tiến hành đánh giá độ tin cậy và tính kinh tế của đập được thiết kế, từ đó có thể áp dụng các biện pháp điều chỉnh bổ sung khi cần thiết.

Các phương pháp nghiên cứu tính toán thẩm bao gồm phương pháp cơ học chất lỏng, phương pháp thủy lực và phương pháp thực nghiệm.

Đặc tính của chuyển động thẩm trong đập đất đá phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: cấu tạo đập, cấu tạo địa chất của nền và bờ, địa hình khu vực xây dựng, đặc trưng chế độ thủy văn và địa chất thủy văn của công trình.

Thẩm phẳng và thẩm không gian

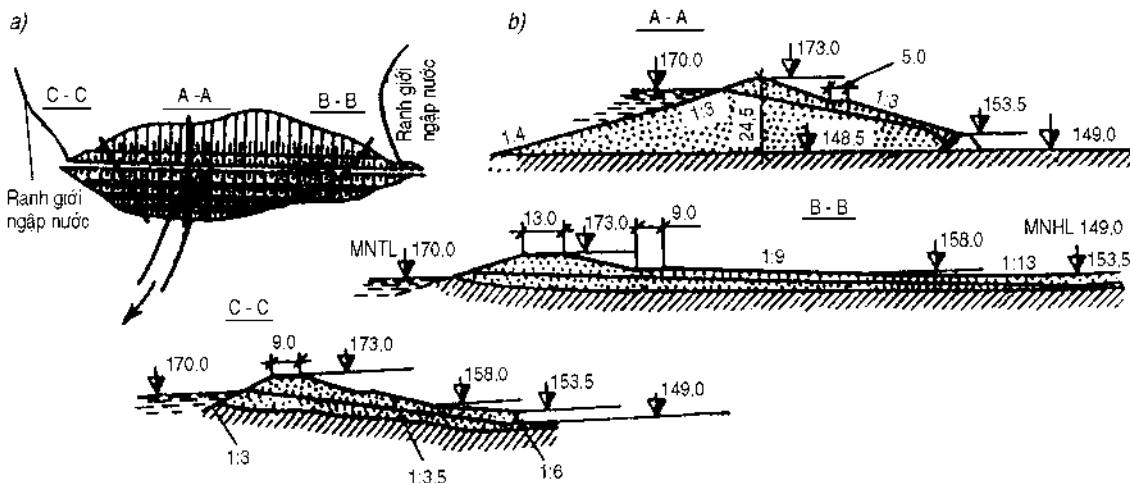
Đối với các đập xây dựng ở sông đồng bằng thường có chiều cao nhỏ, chiều dài lớn, do đó chuyển động thẩm trong phạm vi phần lớn của chiều dài đập là thẩm gân như phẳng, nghĩa là dòng thẩm gân vuông góc với trục dọc của đập.

Trong các đập cao xây dựng ở vùng núi, hoặc trong các đập xây dựng trên các sông suối hẹp thì chuyển động của dòng thẩm có tính không gian rõ rệt.

Bản thân lòng sông trong đa số trường hợp làm chức năng thoát nước thẩm không gian. Riêng đoạn mặt cắt qua khu vực lòng sông ngập nước ở hạ lưu, các dòng thẩm có phương vuông góc với trục đập (mặt cắt A-A trên hình 4-1 a) và chuyển động thẩm xem là phẳng.

Tại hai vai đập, ở phạm vi bãi bồi và sườn dốc của hai bên bờ, các đường dòng thẩm có dạng cong và kéo dài trên bình diện (các mặt cắt B-B và C-C, hình 4-1 a).

Trong thực tế, việc giải bài toán thấm không gian thuần tuý rất phức tạp, cho nên ít được thực hiện mà thường sử dụng phương pháp đánh giá qua lời giải của một số bài toán thấm phẳng và thấm vòng. Tuy nhiên, để những lời giải các bài toán thấm phẳng riêng lẻ phản ảnh được quá trình thấm chung có tính không gian, cần lấy mặt cắt tính toán đi theo các đường dòng của thấm bình diện. Trên hình 4-1 giới thiệu mặt bằng và các mặt cắt được lựa chọn để xét theo bài toán phẳng áp dụng cho đập đất đồng chất bằng cát trên nền không thấm.



Hình 4-1. Sơ đồ thấm không gian trong đập đất

- a) Bình độ đập và các đường dòng thấm đặc trưng trên bình diện;
- b) Các mặt cắt đi qua các đường dòng đặc trưng.

Thông qua lời giải những bài toán thấm phẳng theo các mặt cắt đặc trưng có thể xây dựng hình ảnh đầy đủ về quá trình thấm ở công trình được xem xét.

Những điều kiện được chọn làm căn cứ cho tính toán thấm trong thực tế đều là tương đối, bởi vì ngay những thông số tính toán như hệ số thấm cũng được lấy một cách tương đối, nhất là hệ số thấm của nền.

Bên cạnh những yếu tố ảnh hưởng liên quan đến điều kiện tự nhiên của khu vực xây dựng công trình, các yếu tố về cấu tạo của đập như vật thoát nước, bộ phận chống thấm ở đập và dưới nền,... có tác động rất lớn đến chế độ thấm trong đập đất đá.

Trong những đập đất với độ cao lớn còn có ảnh hưởng của trạng thái ứng suất ở trong đập và nền, dẫn đến sự thay đổi tính chất thấm của đất. Tính chất thấm không đồng nhất trong đất cũng thường gặp đối với đập đất đá xây dựng bằng phương pháp nổ mìn định hướng.

Những ví dụ dẫn chứng trên đây cho thấy bài toán thấm trong thực tế là phức tạp và chỉ có thể giải chính xác cho từng trường hợp cụ thể bằng phương pháp mô hình số hoặc phương pháp thực nghiệm trên mô hình tương tự, có sử dụng các thiết bị thí nghiệm như mô hình EGDA (tương tự điện tử động lực học), kết hợp với mô hình thấm bình diện, thấm khe hẹp, v.v...

Lời giải giải tích chuyển động thấm trong đập đất chủ yếu được thiết lập cho các bài toán thấm phẳng hoặc thấm bình diện ứng với môi trường thấm là đất đồng nhất áp dụng cho đoạn đập ở lòng sông và đập xây dựng ở vùng đồng bằng có chiều dài lớn.

Lớp cách n- ớc và thoát n- ớc

Trong trường hợp đất đập và nền là không đồng chất thì cần phải sử dụng khái niệm lớp cách nước và lớp thoát nước. Ví dụ, đất đập hoặc đất ở một bộ phận nào đó của đập có hệ số thấm là k_d , còn đất nền có hệ số thấm là k_n . Nếu $k_d/k_n > 100$, thì nền được xem là lớp cách nước (lớp không thấm) đối với đập (trong nhiều trường hợp có thể sử dụng với $k_d/k_n = 20 \div 25$). Nếu quan hệ k_d/k_n nhỏ hơn giới hạn nêu ở trên thì không được xem nền là lớp cách nước hay tầng không thấm, bởi vì ảnh hưởng của chuyển động thấm ở đập và nền có tác động lẫn nhau rất lớn.

Giả thiết nền là lớp cách nước trong trường hợp này được hiểu là lưu lượng thấm qua nền nhỏ hơn rất nhiều so với lưu lượng thấm qua đập, do đó có thể bỏ qua thấm ở nền.

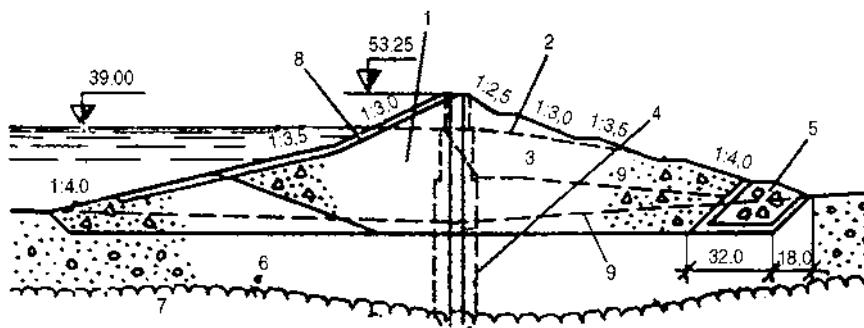
Nếu tỷ số $k_d/k_n < 1/100$, thì vật liệu nền (có hệ số thấm k_n) có thể xem là lớp thoát nước cho vật liệu có hệ số thấm k_d (tức vật liệu đập) còn tổn thất thấm ở nền được xem là nhỏ so với tổn thất thấm qua đập. Khái niệm lớp thoát nước ở đây khác với khái niệm vật thoát nước trong đập đất, vì vậy không được nhầm lẫn.

Tính chất đẳng h- ống và dị h- ống của vật liệu

Khái niệm đất đồng chất về phương diện thấm trong đập đất thường không dẫn đến những sai số đáng kể so với thực tế, tuy vậy ở một số trường hợp phải chú ý đến sự không đồng nhất của vật liệu (tính chất dị hướng về thấm).

Nếu thân đập hoặc bộ phận chống thấm của đập (như lõi giữa, tường nghiêng bằng đất) được thi công bằng loại vật liệu tương đối đồng chất, thì hệ số không đồng nhất có giá trị nhỏ và có thể giải quyết bài toán thấm với môi trường đồng nhất. Sự không đồng nhất - dị hướng ở đây thường xảy ra do công nghệ thi công đắp đất với những lớp nằm ngang, tạo sự khác nhau về hệ số thấm theo phương ngang và đứng với $k_t^x \approx (2 \div 3)k_t^y$, trong đó: k_t^x và k_t^y là các hệ số thấm theo phương x (ngang) và y (đứng).

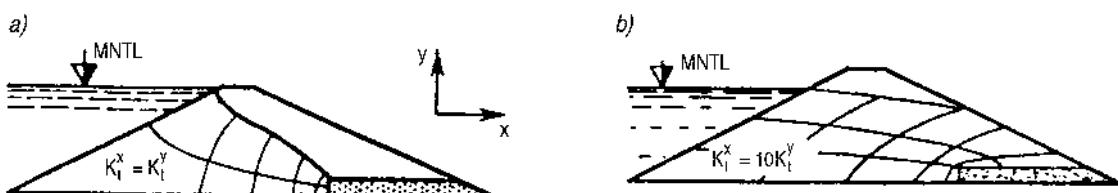
Trong trường hợp vật liệu sử dụng cho kết cấu chống thấm của thân đập có cấu tạo thành phân hạt rất khác nhau, thì khi đổ đất thường xảy ra hiện tượng phân tầng, ở dưới là đất hạt thô với hệ số thấm lớn, phía trên nó cỡ hạt nhỏ hơn và hệ số thấm nhỏ hơn. Với lớp đổ tiếp theo sự phân tầng cũng tương tự như vậy. Hậu quả của phân tầng là tạo ra sự dị hướng về hệ số thấm trong phạm vi mỗi lớp với độ chênh lệch tới 5 \div 7 lần, có khi tới 10 lần. Hiện tượng này đã xảy ra ở đập Orto - Tokoiskaia trên sông Tsu. Bằng chứng là dòng thấm chảy lộ ra mái dốc hạ lưu ở cao độ ngang với mực nước thượng lưu (xem hình 4-2, đường dòng 2). Để khắc phục xói lở mái dốc hạ lưu đã sử dụng biện pháp phun ép vữa xi măng sét, tạo màng chống thấm kiểu lõi giữa (chi tiết 4, hình 4-2), nhờ đó đường bão hòa thấm được hạ xuống theo mong muốn (đường 3 - 9, hình 4-2).

**Hình 4-2. Đập Orto - Tokoiskaia**

- 1- đất thân đập là vật liệu của nón bồi tích có cỡ hạt d < 2 mm chiếm 24,5%;
- 2- vị trí đường bão hòa trước khi phun ép vữa xi măng - sét để tạo màng chống thấm;
- 3- đường bão hòa sau khi có màng chống thấm; 4- màng chống thấm;
- 5- lăng trụ thoát nước thấm; 6- đất nền - aluvium; 7- tầng đá gốc;
- 8- gia cố mái dốc thượng lưu bằng đá; 9- đường mặt đất tự nhiên.

Khi tính thấm, cần phân tích khả năng tồn tại các vùng vật liệu có hệ số thấm dị hướng với sự khác biệt lớn để có biện pháp khắc phục hậu quả bất lợi của biến dạng thấm.

Trên hình 4-3 giới thiệu lối thấm trong đập đồng chất có hệ số thấm đẳng hướng (đồng nhất: $k_t^x = k_t^y$) và dị hướng (không đồng nhất, $k_t^x > k_t^y$). Như thấy rõ trên hình 4-3 b, đối với đất đồng chất dị hướng, tác dụng của vật thoát nước nằm ngang bị giảm đi rất đáng kể. Trong trường hợp này phải sử dụng vật thoát nước thẳng đứng.

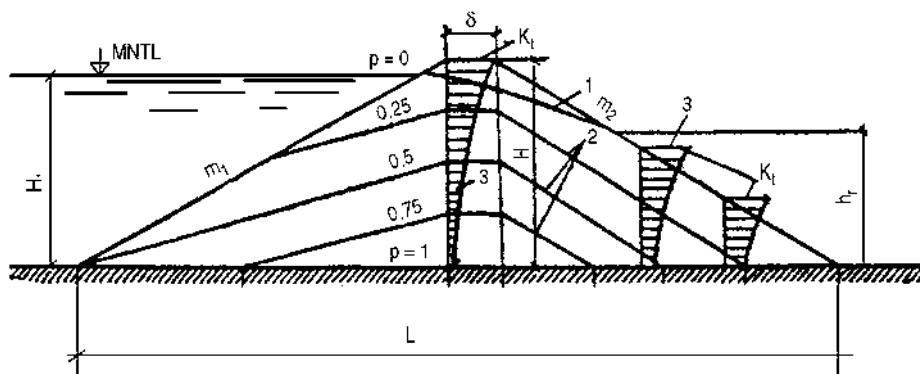
**Hình 4-3. Sơ đồ lối thấm trong đập đồng chất có VTN nằm ngang**

a) Thấm đẳng hướng; b) Thấm dị hướng $K_t^x = 10 k_t^y$.

Ảnh h- Ảnh trạng thái ứng suất đến hệ số thấm

Một vấn đề khác cần chú ý là ảnh hưởng của ứng suất đến hệ số thấm trong vật liệu đập. Nếu đất bị nén mạnh và ứng suất trung bình $\sigma = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)/3$ ở các điểm khác nhau trong thân đập có sự khác nhau đáng kể về giá trị, thì sẽ có hiện tượng thấm không đồng nhất, bởi vì độ rỗng của đất thay đổi phụ thuộc vào ứng suất. Theo V.P. Nedriga, hệ số thấm trong lõi giữa của đập cao và siêu cao có thể khác nhau đến 10 lần đối với vật liệu ở vùng dưới đáy lõi so với vùng trên đỉnh lõi. Thậm chí nếu $k_t^x = k_t^y$, thì lưu lượng thấm và tính chất lối thấm còn phụ thuộc vào sự thay đổi hệ số thấm (k_t) theo tọa độ.

Trên hình 4-4 giới thiệu sơ đồ đập đất đá, trong đó vẽ các đường đồng áp lực theo chiều cao (đường 2) và biểu đồ hệ số thấm theo chiều cao (chi tiết 3). Từ hình 4-4 còn thấy hệ số thấm không chỉ thay đổi theo chiều cao mà còn thay đổi theo chiều ngang.



Hình 4-4. Phân bố giá trị của hệ số thấm trong thân đập

1- đường bão hòa; 2- đường đẳng áp; 3- biểu đồ hệ số thấm.

Thấm ổn định và không ổn định

Những tính toán chính đối với công trình về thấm được tiến hành cho trường hợp thấm ổn định, trong đó cho trước các đại lượng mực nước thượng lưu không đổi và điều kiện tác động bình thường của chúng đến lưu lượng thấm cũng như đến vị trí đường bão hòa thấm.

Dưới góc độ đảm bảo sự làm việc tin cậy của đập đất đá thì nghiên cứu thấm không ổn định có một vai trò quan trọng. Đáng chú ý là trường hợp chuyển động thấm không ổn định ở khu vực nêm thượng lưu của đập và ở mái dốc hai bờ phía thượng lưu, khi mực nước trong hồ chứa hạ đột ngột với tốc độ lớn. Hiện tượng này thường xảy ra khi cần tháo nước hồ chứa để tạo dung tích phòng lũ trước thời điểm có lũ lớn theo dự báo hoặc trong tình huống sự cố. Do vị trí đường bão hòa trong thân đập cao hơn mực nước hồ cho nên sẽ hình thành sự chuyển động thấm ngược về phía hồ chứa, và hiện tượng thấm ngược có thể gây mất ổn định cho mái dốc thượng lưu hoặc làm trượt lớp gia cố bảo vệ mái dốc.

Hiện tượng mao dẫn trong thấm không áp

Thấm qua đập đất đá là thấm không áp có mặt bão hòa là mặt thoáng tự do, vì vậy phía trên mặt bão hòa hình thành vùng đất có độ ẩm giảm dần dưới tác dụng của lực mao dẫn ($w_m < w_b$, trong đó: w_m - độ ẩm của đất ở vùng mao dẫn, w_b - độ ẩm của đất trong điều kiện bão hòa nước - đất nằm dưới đường bão hòa). Chiều cao mao dẫn và sự phân bố độ ẩm của đất ở vùng mao dẫn phụ thuộc vào kích thước kẽ rỗng giữa các hạt đất. Theo số liệu quan trắc thực tế, với đất có cỡ hạt $d = 0,1$ mm, chiều cao mao dẫn trung bình bằng $h_m = 0,5$ m; đất hạt bụi hoặc hạt sét có chiều cao mao dẫn tới trên 10 m.

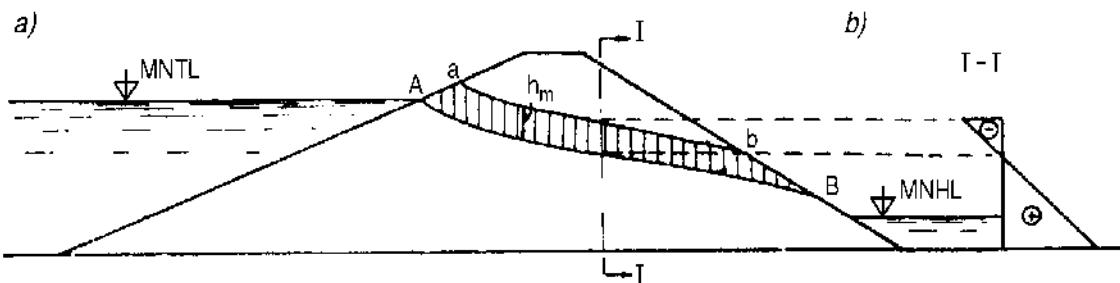
Áp lực trong vùng mao dẫn nhỏ hơn áp lực không khí ngoài trời và có sự phân bố áp lực theo quy luật thủy tĩnh (xem hình 4-5 b), theo công thức:

$$P = P_K - \gamma h_{m_i} \quad (4.1)$$

Trong đó: P và P_K - áp lực ở điểm xét và áp lực không khí;

h_{m_i} - chiều cao cột nước mao dẫn tại điểm xét;

γ - dung trọng nước.



Hình 4-5. Sơ đồ vùng thấm mao dẫn (a) và biểu đồ áp lực nước trong đập đất (b)

Nước mao dẫn tham gia vào chuyển động thấm ở vùng bão hòa. Nếu kể tới chuyển động mao dẫn thì cột nước thấm được lấy như sau:

$$h_t = h + h_m \cdot a \quad (4.2)$$

Trong đó:

h_t - cột nước thấm có kể đến chuyển động mao dẫn;

h - cột nước thấm kể từ đường bão hòa đến đáy đập;

h_m - chiều cao mao dẫn;

a - hệ số kể đến mức độ chứa nước trong lớp mao dẫn, lấy bằng $0,3 \div 0,4$.

Ảnh hưởng mao dẫn đối với chuyển động thấm và lưu lượng thấm không lớn, nhưng cần biết phạm vi mao dẫn (h_m) khi thiết kế vật thoát nước theo yêu cầu bảo vệ mái dốc hạ lưu không bị ướt dưới tác dụng của dòng thấm ra hạ lưu.

Trường hợp tính toán thấm

Tính toán thấm trong đập đất đá được xét với những trường hợp sau:

a) Mực nước thượng lưu là mực nước thiết kế lớn nhất (MNDBT), mực nước hạ lưu là mực nước ứng với lưu lượng tháo lũ tính toán.

Đây là trường hợp có áp lực thấm lớn nhất lên công trình ứng với tổ hợp tính toán cơ bản.

b) Mực nước thượng lưu là mực nước kiểm tra (MNGC), mực nước hạ lưu là mực nước ứng với lưu lượng tháo lũ kiểm tra (Q_{ktr} phụ thuộc vào cấp công trình lấy theo tần suất lũ kiểm tra).

Trường hợp này được tiến hành theo bài toán thấm ổn định đối với đập bằng vật liệu có hệ số thấm lớn như đất cát, trong đó vị trí đường bão hòa rất nhanh chóng được ổn định sau khi có sự thay đổi mực nước ở thượng lưu và hạ lưu.

Đối với đập bằng đất sét (ít thấm) hoặc đập đá đổ có bộ phận chống thấm bằng đất sét, cần giải bài toán thấm không ổn định khi mực nước thượng lưu là MNGC.

c) Mực nước thượng lưu là MNDBT, mực nước hạ lưu là mực nước lớn nhất mùa kiệt. Đây là trường hợp tính toán cơ bản để chọn kết cấu tầng lọc tại khu vực tiếp xúc giữa đập với bộ phận thoát nước thấm của đập và nền.

d) Mực nước thượng lưu từ MNDBT hạ xuống đến MNPL (mực nước phòng lũ) hoặc đến một mực nước nào đó (theo giả định) với tốc độ hạ mực nước khác nhau. Bài toán này được tiến hành theo trường hợp thấm không ổn định để kiểm tra độ ổn định của mái dốc thượng lưu của đập và bờ.

Ngoài ra, tuỳ theo yêu cầu và tầm quan trọng của công trình, có thể tính thấm với trường hợp vật thoát nước bị hư hỏng, nhằm xác định vị trí đường bão hòa ra mái dốc hạ lưu, khả năng ổn định của mái dốc và các ảnh hưởng biến dạng do thấm đối với vật liệu đập.

Lưu ý rằng, trong đa số trường hợp lưu lượng thấm qua đập tương đối nhỏ và có thể bỏ qua, nhưng cũng có trường hợp lưu lượng thấm là yếu tố quyết định để chọn kết cấu đập và bộ phận chống thấm của đập. Trường hợp như vậy được chia thành hai nhóm:

1) Đập cấu tạo bằng vật liệu có độ thấm lớn như đất cát, cuội sỏi, hoặc đập đá đổ xây dựng bằng phương pháp nổ mìn định hướng không có bộ phận chống thấm riêng. Trường hợp này cần xác định lưu lượng thấm qua đập để có biện pháp xử lý thích hợp, bởi vì lưu lượng thấm có thể rất lớn, gây tổn thất đáng kể đến cột nước dâng trước đập và theo đó là tổn thất năng lượng.

2) Đập có chức năng riêng, ví dụ đập được xây dựng để tạo kho chứa các chất thải công nghiệp như xỉ than, chất thải trong công nghiệp tuyển khoáng, v.v... Các chất thải có thể chứa những độc tố có hại cho sức khoẻ con người hoặc cho động - thực vật, hoặc gây ô nhiễm môi trường, vì vậy lưu lượng thấm dù nhỏ cũng nguy hiểm và không cho phép. Trong trường hợp này cần phân tích kỹ bài toán thấm, kiểm tra thấm qua thân đập và vòng quanh hai đầu đập, để có các biện pháp chống thấm cũng như biện pháp thoát nước thấm với độ an toàn cao.

Lưu lượng thấm toàn bộ qua đập đất đá được xác định theo công thức:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \ell_i \quad (4.3)$$

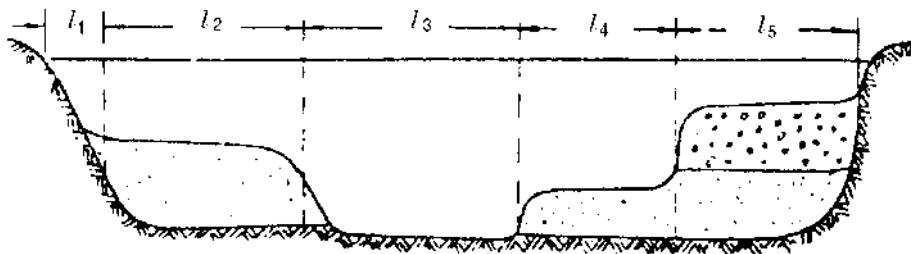
Trong đó:

q_i - lưu lượng thấm đơn vị cho mặt cắt đặc trưng của đoạn i ,

ℓ_i - chiều dài đoạn thứ i ;

n - số đoạn tính toán.

Căn cứ vào hình dạng mặt cắt ngang của lòng sông và bình đồ của đập, tiến hành chia đập thành những đoạn đặc trưng theo điều kiện các thông số kích thước hình dạng và thông số thấm (loại vật liệu đập và nền, hệ số thấm ở mỗi đoạn là như nhau hoặc gần như nhau, hoặc nếu có thay đổi thì theo quy luật đường thẳng (không có đột biến), để có thể lấy giá trị trung bình cộng (xem ví dụ hình 4-6).



Hình 4-6. Sơ đồ chia mặt cắt dọc đập thành những đoạn đặc trưng

4.2. NHỮNG BÀI TOÁN THẤM ỔN ĐỊNH ĐẶC TRÍNG TRONG ĐẬP ĐẤT

4.2.1. Thấm qua đập đất đồng chất trên nền không thấm, không có vật thoát nước

Bài toán 1: Thấm qua đập đất đồng chất trên nền không thấm là trường hợp đơn giản nhất nhưng rất cơ bản khi nghiên cứu thấm trong đập đất, vì vậy có thể gọi là bài toán thấm số 1.

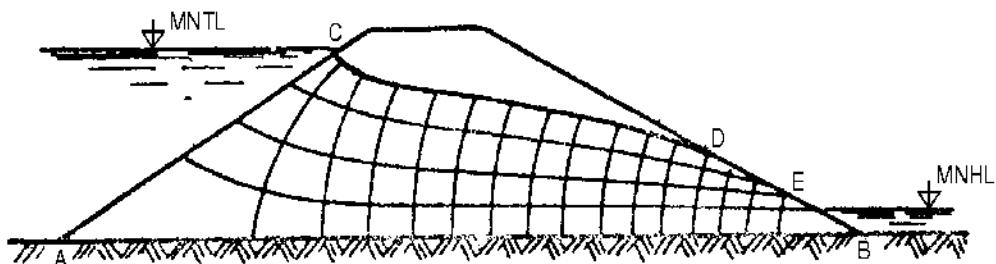
Trên cơ sở các phương pháp giải bài toán thấm số 1, cho phép mở rộng bài toán thấm cho những sơ đồ phức tạp hơn với độ chính xác cao hơn.

a. Phương pháp phân đoạn

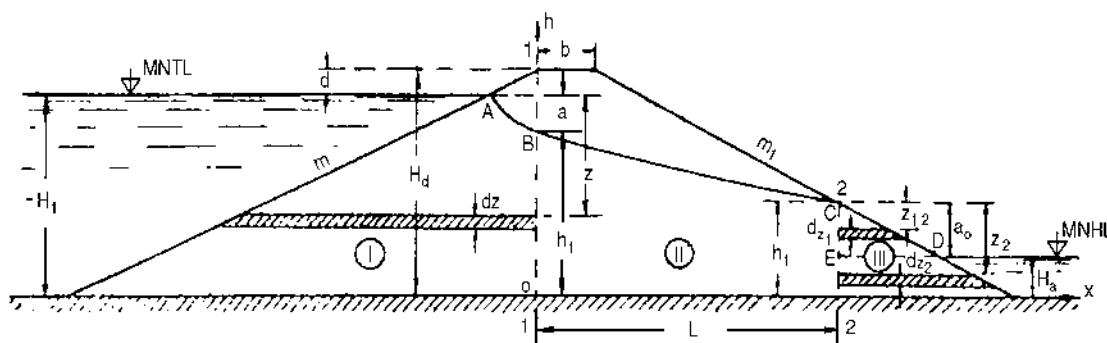
Có rất nhiều nghiên cứu và kiến nghị về cách giải bài toán thấm không áp đặt ra ở trên bằng phương pháp thủy lực, trong đó được sử dụng phổ biến nhất là phương pháp phân đoạn do viện sỹ N. N. Pavolôpxki đưa ra, đến nay đã được hiệu chỉnh bổ sung.

Mặc dù trường hợp xét ở đây là đơn giản nhất, song nếu phân tích sự chuyển động thấm qua lối thấm (hình 4-7) thấy rằng không thể sử dụng phương pháp thủy lực để giải bài toán thấm theo một sơ đồ chung, nói cách khác là phải chia mặt cắt đập thành các phân đoạn và giải bài toán thấm riêng cho mỗi phân đoạn.

Sơ đồ bài toán thấm qua đập đất đồng chất trên nền không thấm được chia thành 3 phân đoạn, gồm phân đoạn nêm thương lưu (I), phân đoạn giữa (II) và phân đoạn nêm hạ lưu (III) kể từ vị trí mặt bão hòa ra mái dốc hạ lưu, (xem hình 4-8).



Hình 4-7. Sơ đồ lối thấm qua đập đồng chất trên nền không thấm nước



Hình 4-8. Sơ đồ tính thấm theo phân đoạn

Thấm qua phân đoạn I: Trong thực tế, đường dòng thấm ở phân đoạn I là những đường cong có các điểm xuất phát theo hướng vuông góc với mái dốc thượng lưu, vì mái dốc này là đường đẳng thế. Khi tính thấm ở phân đoạn I đã giả thiết các đường dòng là song song nằm ngang, ví dụ với bó dòng phân tố dz thì chiều dài đường dòng là (hình 4-8).

$$L = m(z + d)$$

do đó gradiant thấm theo bó dòng dz là:

$$I = \frac{a}{\ell} = \frac{a}{m(z + d)}$$

Vận tốc thấm theo đường dòng phân tố dz :

$$v = kJ = \frac{ka}{m(z + d)}$$

Lưu lượng phân tố theo bó dòng dz :

$$dq = vdz = \frac{ka}{m(z + d)} dz$$

Lưu lượng toàn phần qua phân đoạn I là:

$$q = \int_a^{a+h_1} \frac{ka}{m(z + d)} dz = \frac{ka}{m} \left[\ln(z + d) \right]_a^{a+h_1} = \frac{ka}{m} \ln \frac{d + a + h_1}{d + a}$$

hay là:
$$q = \frac{k(H_d - d - h_1)}{m} \ln \frac{H_d}{H_d - h_1} \quad (4.4)$$

Trong đó: k - hệ số thấm của đất đập; các ký hiệu khác trong công thức (4.4) xem hình 4-8.

Thấm qua phân đoạn II: Đường dòng thấm ở phân đoạn II có dạng biến đổi dân, vì vậy có thể tính lưu lượng thấm theo công thức Dupuy:

$$q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} \quad (4.5)$$

Đường bão hòa trong phân đoạn II xác định theo công thức:

$$h_x^2 = h_1^2 - \frac{2q}{k}x \quad (4.6)$$

Trong đó: h_x và x là chiều cao đường bão hòa ở vị trí x cách gốc toạ độ lấy từ mặt phẳng 1.1 (điểm O trên hình 4-8).

Thấm qua phân đoạn III: Đường dòng thấm ở phân đoạn III cũng được xem là những đường thẳng song song nằm ngang. Thấm ở phân đoạn III được chia thành hai phần, phía trên và dưới mực nước hạ lưu.

Đối với phân phía trên mực nước hạ lưu:

$$\begin{aligned} J_1 &= \frac{z_1}{m_1 z_1} = \frac{1}{m_1}, \\ v_1 &= kJ_1 = \frac{k}{m_1}, \\ dq_1 &= v_1 dz_1 = \frac{k}{m_1} dz_1, \\ \text{và} \quad q_1 &= \int_0^{a_o} \frac{k}{m_1} dz_1 = \frac{ka_o}{m_1} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Đối với phân nằm dưới MNHL:

$$\begin{aligned} J_2 &= \frac{a_o}{m_1 z_2} \\ v_2 &= kJ_2 = \frac{ka_o}{m_1 z_2} \\ dq_2 &= v_2 dz_2 = \frac{ka_o}{m_1 z_2} dz_2 \\ \text{và} \quad q_2 &= \int_0^{a_o+H_2} \frac{ka_o}{m_1 z_2} dz_2 = \frac{ka_o}{m_1} \ln \frac{a_o + H_2}{a_o} \end{aligned} \quad (4.8)$$

Lưu lượng thấm toàn bộ qua phân đoạn III:

$$q = q_1 + q_2 = \frac{ka_o}{m_1} \left(1 + \ln \frac{a_o + H_2}{a_o} \right) \quad (4.9)$$

Như vậy, bài toán thám qua đập đồng chất trên nền không thám được mô tả bằng hệ phương trình sau:

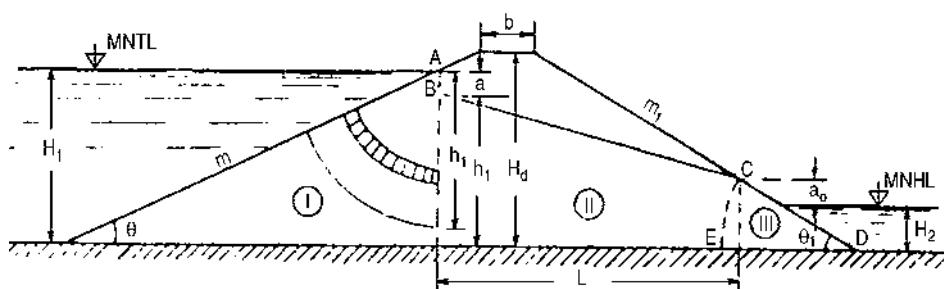
$$\left. \begin{array}{l} \frac{q}{k} = \frac{h_d - d - h_1}{m} \cdot 2,3 \lg \frac{H_d}{H_d - h_1}; \\ \frac{q}{k} = \frac{h_1^2 - (a_o + H_2)^2}{2L}; \\ \frac{q}{k} = \frac{a_o}{m_1} \left(1 + 2,3 \lg \frac{a_o + H_2}{a_o} \right); \\ L = b + m_1 \left[H_d - (a_o + H_2) \right]. \end{array} \right\} \quad (4.10)$$

Giải hệ phương trình (4.10) tìm được giá trị các đại lượng q , h_1 , a_o và L . Trong trường hợp lưu không có nước thì xem $H_1 = 0$.

Dựa vào phương pháp giải của N. N. Pavolôpxki, nhiều tác giả đã có những đề nghị bổ sung khác nhau.

A. A. Ughintrue và P.A. Sankin sử dụng giả thiết đường dòng thấm ở phân đoạn I là những đường cong tròn tâm ở A, do đó lưu lượng thấm qua phân đoạn I được tính bằng (hình 4-9):

$$q = kJ_1 h_1 = k \frac{q}{\frac{h_1}{2} \cdot \frac{\pi(90^\circ - \theta^\circ)}{180^\circ}} h_1 = \frac{k \cdot a \cdot 360^\circ}{\pi(90^\circ - \theta^\circ)} \approx \frac{115^\circ \cdot ka}{(90^\circ - \theta^\circ)} \quad (4.11)$$



Hình 4-9. Sơ đồ tính thẩm theo phân đoạn với đường dòng ở phân đoạn I là các cung tròn

A. Cadagrandđo đề nghị giả thiết đường đẳng thế ở ranh giới phân chia đoạn II và III là cung tròn CE có tâm ở D (hình 4-9), do đó công thức lưu lượng thẩm qua phân đoạn III có dạng:

$$q = k a_o \sin \theta_o \left(1 + 2,3 \lg \frac{a_o + H_2}{a_o} \right) \quad (4.12)$$

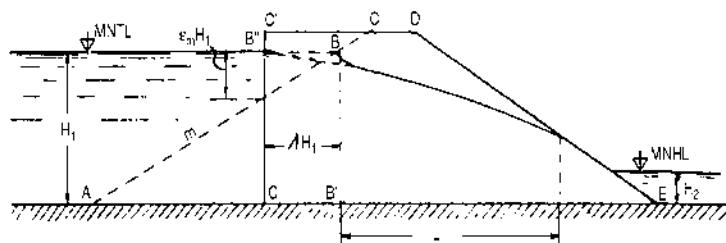
Trong đó: θ , - góc nghiêng của mái dốc hạ lưu so với mặt nằm ngang.

Nếu kể đến các giả thiết đưa ra ở trên, hệ phương trình thấm qua đập đồng chất trên nền không thấm sẽ là:

$$\left. \begin{aligned} \frac{q}{K} &= \frac{115^\circ a_o}{90^\circ - \theta^\circ}; \\ \frac{q}{K} &= \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} = \frac{h_1^2 - (a_o + H_2)^2}{2L}; \\ \frac{q}{K} &= a_o \sin \theta_1 \left(1 + 2,31 \lg \frac{a_o + H_2}{a_o} \right); \\ L &= b + m_1 \left[H_d - (a_o + H_2) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (4.13)$$

b. Ph- ơng pháp biến đổi mái dốc th- ơng l- u

Nhiều tác giả như A. E. Zamarin, G.M. Mikhailop, S. N. Numêrop, A. A. Ughintru... đề nghị thay thế nêm thương lưu hình tam giác bằng khối chữ nhật (hình 4-10) có bề rộng λH_1 , trong đó λ - hệ số biến đổi, phụ thuộc vào hệ số mái dốc và theo G. M. Mikhailop, $\lambda = m/(1 + 2m)$.



Hình 4-10. Sơ đồ tính thấm theo phương pháp biến đổi mái dốc thương lưu

Để đơn giản, nhiều tác giả đề nghị lấy $\lambda = 0,4$ với $m \geq 2$.

Điều kiện biến đổi được thực hiện theo nguyên tắc cột nước tồn thấm và lưu lượng thấm qua nêm tam giác thương lưu cũng như qua khối chữ nhật thay thế là bằng nhau.

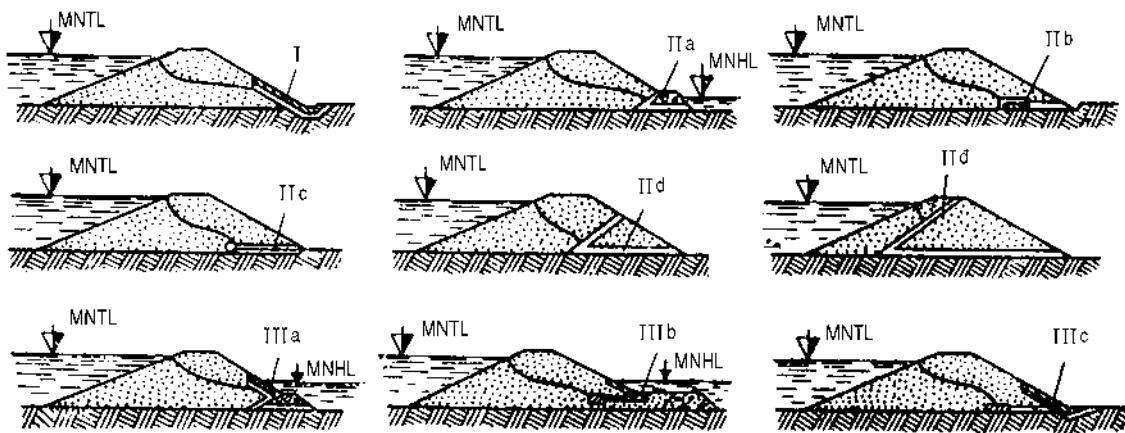
4.2.2. Thấm qua đập đất đồng chất trên nền không thấm, hạ l u đập có vật thoát n óc

Vật thoát nước là một bộ phận quan trọng trong cấu tạo của đập đất hoặc đập đá. Nó được sử dụng để điều chỉnh vị trí đường bão hòa trong thân đập; thu và thoát nước thấm; ngăn ngừa sự xuất hiện biến dạng thấm. Ngoài ra, đối với đập có cấu tạo bằng vật liệu ít thấm hoặc đối với kết cấu chống thấm của đập như lõi sét, tường nghiêng sét, thì vật thoát nước (các tầng lọc của VTN) còn có tác dụng giảm áp lực kẽ rỗng trong quá trình cố kết của vật liệu ít thấm, nhờ đó đẩy nhanh quá trình cố kết của vật liệu, hoặc giảm áp lực kẽ rỗng khi có lực động đất tác dụng lên đập.

Vật thoát nước ở đáy và nền đập đất có tác dụng giảm áp lực kẽ rỗng ở nền và để thoát nước có áp trong tầng chứa nước dưới nền bị che phủ bởi lớp cách nước bên trên.

Trên hình 4-11 giới thiệu sơ đồ đập đất đồng chất trên nền không thấm có vật thoát nước với cấu tạo khác nhau, được bố trí ở những vị trí khác nhau, phụ thuộc vào điều kiện làm việc và mục đích - yêu cầu đối với mỗi loại vật thoát nước.

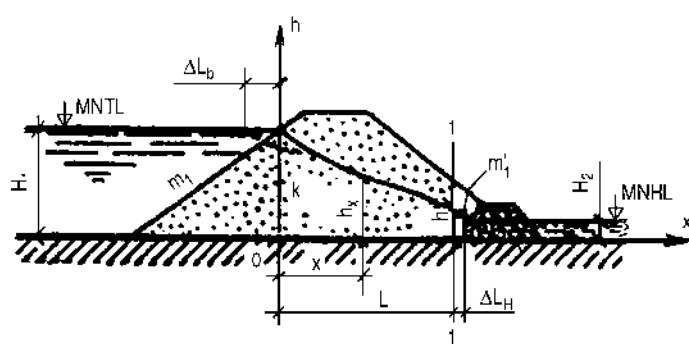
Dưới đây là lời giải đối với một số sơ đồ làm việc điển hình của vật thoát nước trong thân đập đất đồng chất trên nền không thấm. Trên cơ sở phương pháp giải những bài toán này có thể mở rộng cho các sơ đồ tính toán tương tự khác.



**Hình 4-11. Sơ đồ các loại vật thoát nước (VTN)
trong đập đất đồng chất trên nền không thấm**

I- VTN bê mặt; IIa- VTN lăng trụ; IIb- VTN gối phẳng nằm ngang dưới đáy đập;
IIc- VTN ống dọc; IId, IIđ- VTN gối phẳng nằm ngang kết hợp với VTN gối nghiêng
đặt sâu trong thân đập; IIIa, IIIb, IIIc- các loại VTN hỗn hợp.

Bài toán 2: Thấm qua đập đất đồng chất trên nền không thấm, vật thoát nước lăng trụ (hình 4-12).



Hình 4-12

Phương trình lưu lượng thấm qua đập:

$$\frac{q}{K} = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L_b} \quad (4.14)$$

Trong đó: $L_B = L + \Delta L_b + \Delta L_H$;

$$\Delta L_b = \lambda H_1; \quad \Delta L_H = \frac{m'_1 H_2}{3};$$

ΔL_H - khoảng cách từ điểm đường bão hòa đi vào VTN so với chân mái dốc thượng lưu của VTN;

m'_1 - hệ số mái dốc thượng lưu của đập;

m_1' - hệ số mái dốc thượng lưu của VTN;

k - hệ số thấm của vật liệu đập;

H_1, H_2 - chiều sâu cột nước thượng và hạ lưu.

Phương trình đường bão hòa:

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{K} (L - x) + h_c^2} \quad (4.15)$$

Trong đó: h_c - tung độ đường bão hòa tại mặt cắt 1 - 1, lấy như sau:

a) Khi $H_2 > 0$:

$$h_c = \sqrt{H_1^2 - 2(L - \Delta L_b) \frac{q}{k}} - H_2 \quad (4.16)$$

b) Khi $H_2 = 0$:

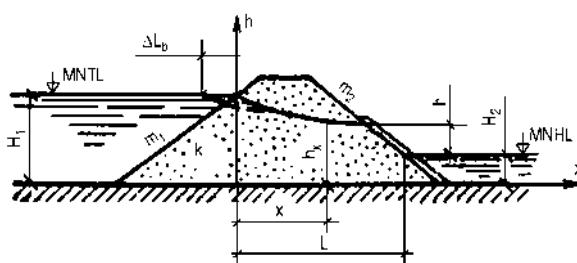
$$h_c = f(m'_1) \frac{q}{K} \quad (4.17)$$

Hàm $f(m'_1)$ phụ thuộc vào hệ số mái dốc m'_1 và lấy như sau:

m'_1	0	0,5	1,0	2,0	> 2,0
$f(m'_1)$	0,74	0,86	0,94	0,96	1,0

Đoạn đầu đường bão hòa được điều chỉnh bằng mắt ở vùng $h_x \geq H_1 - q/k$ (đường nét liền thay cho đường đứt khúc).

Bài toán 3: Đập đất đóng chất trên nền không thấm, VTN bê mặt dạng gối nghiêng (còn gọi là kiểu áp mái), hạ lưu có nước (hình 4-13).



Hình 4-13

Phương trình lưu lượng thấm qua đập:

$$\frac{q}{k} = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L_b} \quad (4.18)$$

Trong đó: $L_b = L + \Delta L_b$; $\Delta L_b = \lambda H_1$

Phương trình đường bão hòa:

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{k} (L - x - m_2 h_r) + (H_2 + h_r)^2} \quad (4.19)$$

$$h_r = a + \sqrt{a^2 + \frac{m_2}{2f(m_2)} H_2 \frac{q}{k}} \quad (4.20)$$

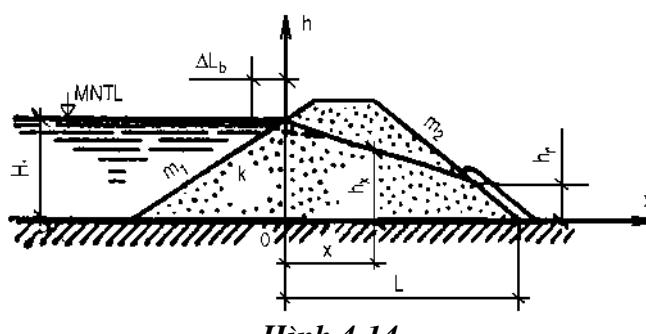
Trong đó:

$$a = 0,5 f(m_2) \frac{q}{k} - 0,5 \left\{ 1 + \frac{m_2}{2[f(m_2)]^2} \right\} H_2; \quad (4.21)$$

Hàm $f(m_2)$ lấy giá trị tương tự như hàm $f(m_1)$, phụ thuộc vào hệ số mái dốc hạ lưu m_2 .

Đoạn đầu đường bão hòa được chỉnh bằng mắt tương tự như bài toán 2, ở đoạn $h_x \geq H_1 - \frac{q}{k}$.

Bài toán 4: Đập đất đồng chất trên nền không thấm, VTN bề mặt dạng gối nghiêng, hạ lưu không có nước (hình 4-14).



Hình 4-14

Phương trình lưu lượng thấm qua đập:

$$\frac{q}{k} = \frac{H_1^2}{L_b + \sqrt{L_b^2 - m_2^2 H_1^2}} \quad (4.22)$$

Trong đó:

$$L_b = L + \Delta L_b; \Delta L_b = \lambda H_1;$$

$$h_r = f(m_2) \frac{q}{k} \quad (4.23)$$

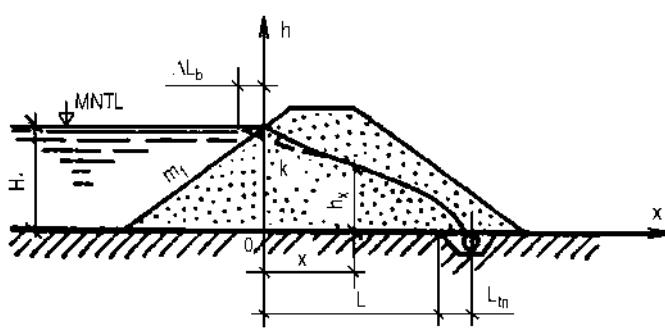
Hàm $f(m_2)$ phụ thuộc vào hệ số mái dốc hạ lưu, $f(m_2) = 0,5 + m_2$ khi $m_2 > 1$; $f(m_2) = 0,7 + 0,8m_2$ khi $m_2 < 1$.

Phương trình đường bão hòa:

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{k} (L - x - m_2 h_r) + h_r^2} \quad (4.24)$$

Đường bão hòa được chỉnh sửa ở đoạn đầu ở vùng $h_x \geq H_1 - \frac{q}{k}$.

Bài toán 5: Đập đất đồng chất trên nền không thấm, VTN ống dọc, hạ lưu không có nước (hình 4-15).



Hình 4-15

Phương trình lưu lượng thấm qua đập:

$$\frac{q}{k} = \frac{H_1^2}{2L_b} \quad (4.25)$$

Trong đó: $L_b = L + \Delta L_b$; $\Delta L_b = \lambda H_1$

Phương trình đường bão hòa

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{k} (L - x + L_{tn})} \quad (4.26)$$

L_{tn} - khoảng cách từ mép thượng lưu rãnh thoát nước đến tâm ống thu nước thấm,

$$L_{tn} = 0,5 \frac{q}{k}.$$

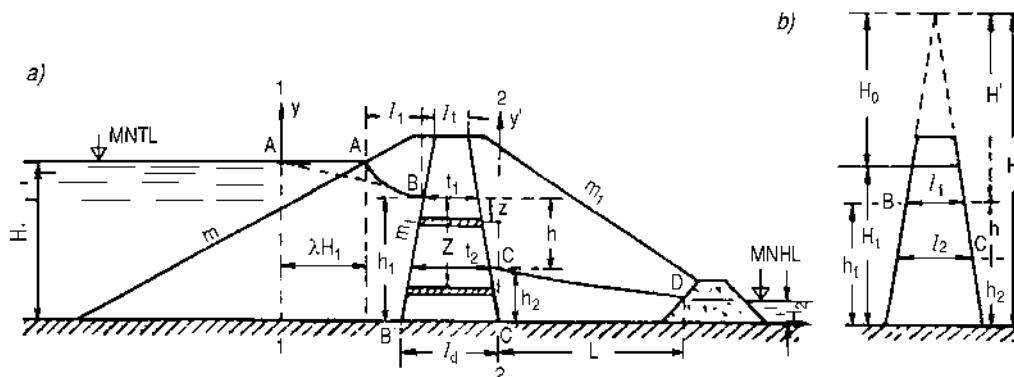
Đường bão hòa được chỉnh lại ở đoạn đầu, nơi $h_x \geq H_1 - \frac{q}{k}$

4.2.3. Thấm qua đập không đồng chất trên nền không thấm

Bài toán 6: Đập đất không đồng chất, trên nền ít thấm có bộ phận chống thấm bằng lõi giữa.

Bài toán này có thể giải bằng phương pháp phân đoạn hoặc phương pháp biến đổi đất lõi giữa bằng khối đất cùng loại với đất đập theo điều kiện tồn thấm qua lõi giữa và qua khối đất thay thế bằng nhau.

a) Giải theo phương pháp phân đoạn (hình 4-16)



Hình 4-16. So đồ thám qua đập đất có lõi giữa trên nền không thám

Đập được chia thành ba phân đoạn: phần thân đập phía thượng lưu (I), lõi giữa (phân đoạn II), và phần thân đập hạ lưu (III).

Đối với phần thân đập thương lưu sử dụng phương pháp biến đổi khối mái dốc bằng khối đất chữ nhật bề rộng λH_1 .

Phương trình lưu lượng thẩm qua phân đoạn I:

$$\frac{q}{k} = \frac{H_1^2 - h_1^2}{2L_1} \quad (4.27)$$

Trong đó: $L_1 = \lambda H_1 + \ell_1$

Đối với phân đoạn II (lõi giữa), có thể sử dụng lời giải của N. N. Pavolôpxki, trong đó được chia thành 2 khu vực thấm khác nhau là khu thấm nằm trên vị trí điểm đầu đường bão hòa của phân đoạn III (điểm C) và khu thấm nằm dưới mặt cắt ngang qua điểm C.

Lưu lượng phân tố qua phần trên đường bão hòa được xác định theo công thức (hình 4-16 a):

$$dq_1 = \frac{k_1 z dz}{t_1 + 2m_o z} = \frac{k_1}{2m_o} \cdot \frac{z}{z + \frac{t_1}{2m_o}} dz,$$

Do đó công thức lưu lượng qua phần trên đường bão hòa có dạng:

$$q_1 = \int_o^h \frac{k_1}{2m_o} \cdot \frac{z}{z + \frac{t_1}{2m_o}} dz$$

Thay

$$\frac{z}{z + \frac{t_1}{2m_o}} = 1 - \frac{\frac{t_1}{2m_o}}{z + \frac{t_1}{2m_o}}$$

ta có

$$q_1 = \frac{k_1}{2m_o} \left[h - \frac{t_1}{2m_o} \ln \frac{h + \frac{t_1}{2m_o}}{\frac{t_1}{2m_o}} \right] \quad (4.28)$$

Trong đó:

K_1 - hệ số thấm của lõi;

m_o - hệ số mái dốc phía thượng lưu của lõi;

Các ký hiệu khác xem hình 4-16.

Đối với phần lõi nằm dưới đường bão hòa phía hạ lưu, biểu thức lưu lượng phân bố có dạng:

$$dq_2 = \frac{k_1 h}{t_1 + 2m_o z} dz = k_1 h \frac{dz}{t_1 + 2m_o z}$$

do đó, lưu lượng qua lõi ở phần dưới đường bão hòa phía hạ lưu có dạng:

$$q_2 = \int_h^{h_1} k_1 h \frac{dz}{t_1 + 2m_o z} = \frac{k_1 h}{2m_o} \ln \frac{h_1 + \frac{t_1}{2m_o}}{h + \frac{t_1}{2m_o}} \quad (4.29)$$

Từ hình 4-16 b ta có:

$$t_1 = 2m_o H'$$

vì thế $H' = \frac{t_1}{2m_o}$

Mặc khác $H' = H - h_1$

do đó $H - h_1 = \frac{t_1}{2m_o}$

Tổng lưu lượng thấm qua lõi sẽ là $q = q_1 + q_2$. Phương trình lưu lượng thấm qua lõi sau khi rút gọn có dạng:

$$\frac{q}{k_1} = \frac{h_1 - h_2}{2m_o} \left[1 - \frac{H - h_1}{h_1 - h_2} \ln \frac{H - h_2}{H - h_1} + \ln \frac{H}{H - h_2} \right] \quad (4.30)$$

Phương trình lưu lượng thấm qua phần hạ lưu của đập với giả thiết bỏ qua chiều cao hút a_o có dạng (hình 4-16 a):

$$\frac{q}{k} = \frac{h_2^2 - H_2^2}{2L} \quad (4.31)$$

Giả thiết bỏ qua chiều cao hút a_o là cho phép, bởi vì khi có vật chống thấm trong đập thì đường bão hòa ở phần hạ lưu đập rất thấp.

Trong thực tế hệ số mái dốc của lõi giữa tương đối nhỏ: $\left(m = \frac{1}{8} \div \frac{1}{12} \right)$, do đó có thể tính thấm qua lõi với chiều dày trung bình

$$t = \frac{t_t + t_d}{2}$$

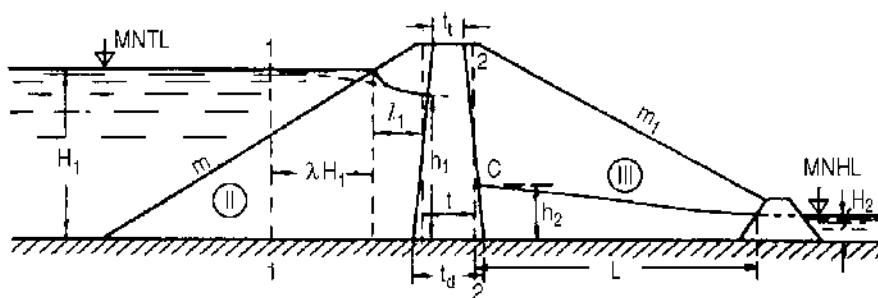
Trong đó:

t_t - chiều dày lõi ở trên đỉnh;

t_d - chiều dày lõi ở dưới đáy (hình 4-17).

Đối với trường hợp tính thấm qua lõi với chiều dày trung bình, công thức lưu lượng thấm qua lõi (hình 4-17) có dạng:

$$\frac{q}{k_1} = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2t} \quad (4.32)$$



Hình 4-17. Thấm qua đập đất có lõi giữa trên nền không thấm

Phương trình đường bão hòa qua phần thượng lưu của đập phía trước lõi (phân đoạn I) có dạng:

$$y = \sqrt{H_1^2 - \frac{2q}{k} x} \quad (4.33)$$

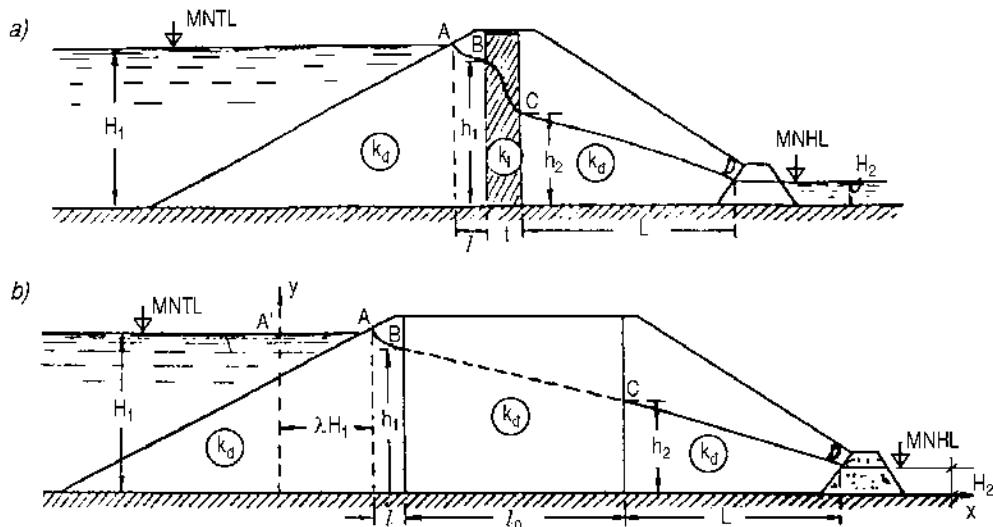
Trong đó trục tung (y) được lấy theo mặt cắt 1.1 (hình 4-16 a và 4-17).

Phương trình đường bão hòa ở phân đoạn hạ lưu đập phía sau lõi (phân đoạn III) có dạng:

$$y' = \sqrt{h_2^2 - \frac{2q}{k} x} \quad (4.34)$$

Trong đó trục tung (y') lấy theo mặt cắt 2-2, tức mặt cắt đi qua điểm đường bão hòa gãy mái dốc hạ lưu của lõi (điểm C, hình 4-17).

b) Giải theo phương pháp biến đổi lõi giữa (hình 4-18)



Hình 4-18. Đập có lõi giữa trên nền không thấm

Mục đích của phương pháp biến đổi lõi giữa là đưa bài toán thấm qua đập không đồng chất (có lõi giữa) về bài toán thấm qua đập đất đồng chất. Muốn vậy cần thay chiều rộng thực của lõi (t) với hệ số thấm k_ℓ bằng chiều rộng bảo kiến (t_o) với hệ số thấm bằng hệ số thấm của vật liệu đập k_d , sao cho tổn thất cột nước thấm qua lõi và qua khối đất thay thế là như nhau ($\Delta h = h_1 - h_2 = \text{const}$).

Trong trường hợp nền có hệ số thấm nhỏ, cụ thể khi $k_d/k_n \leq 50$, thì phải kể đến ảnh hưởng thấm của nền và chiều rộng bảo kiến t_o được xác định như sau:

$$t_o = \frac{k_d}{k_\ell} t_{trb} \quad (4.35)$$

$$\text{Trong đó: } k'_\ell = k_\ell + \frac{2k_n \cdot t_{trb}}{\pi(h_1 + h_2)} \operatorname{arch} \frac{2L}{t_d}; \quad (4.36)$$

t_{trb} - chiều rộng trung bình của lõi, $t_{trb} = \frac{t_t + t_d}{2}$;

k_d, k_ℓ, k_n - hệ số thấm tương ứng của vật liệu đập, của lõi và của nền;

t_d - chiều rộng đáy lõi theo thực tế;

Các ký hiệu khác xem hình 4-18.

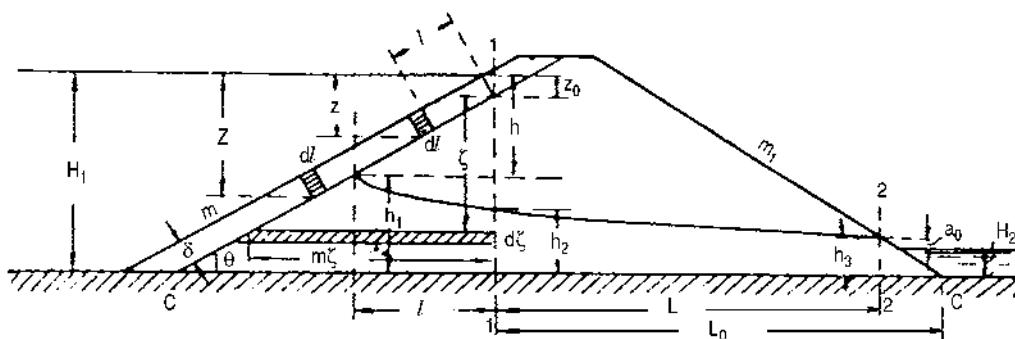
Lời giải tiếp theo của bài toán 6 được tiến hành như sơ đồ thấm qua đập đồng chất trên nền không thấm.

Bài toán 7: Thấm qua đập đất có tường nghiêng trên nền không thấm

Tương tự như bài toán 6, trường hợp thấm qua đập đất có tường nghiêng bằng vật liệu đất ít thấm như đất sét, á sét, v.v..., có thể được giải quyết bằng phương pháp phân đoạn hoặc biến đổi tường nghiêng.

a) *Giải theo ph- ơng pháp phân đoạn (hình 4-19)*

N. N. Pavolôpxki sử dụng giả thiết dòng thấm qua tường nghiêng có phương vuông góc với mái dốc của tường và chia sơ đồ thấm qua tường thành hai phần: thấm qua đoạn tường nằm trên đường bão hòa với lưu lượng q_1 và thấm qua đoạn tường phía dưới đường bão hòa với lưu lượng q_2 (hình 4-19).



Hình 4-19. Sơ đồ thấm qua đập đất có tường nghiêng

Đối với đoạn tường trên đường bão hòa lưu lượng phân bố qua đoạn dl cách mép nước t có thể viết theo biểu thức:

$$dq_1 = k_t J_t dl = \frac{k_t}{\delta} zd\ell = \frac{k_t}{\delta \sin \theta} zdz \quad (4.37)$$

Trong đó:

k_t - hệ số thấm của tường nghiêng;

J_t - gradient thấm qua tường nghiêng, $J_t = z/\delta$;

z - cột nước tác dụng ở mặt cắt xét;

δ - chiều dày trung bình của tường nghiêng.

θ - góc nghiêng của mái dốc tường so với mặt nằm ngang.

Từ (4.37), lưu lượng q_1 sẽ là:

$$q_1 = \int_{z_0}^{H_1 - h_1} dq_1 = \frac{k_t}{2\delta \sin \theta} \left[(H_1 - h_1)^2 - z_0^2 \right] \quad (4.38)$$

Đối với đoạn tường dưới đường bão hòa ta có:

$$dq_2 = k_t J_2 dl = k_t \frac{H_1 - h_1}{\delta} dl = k_t \frac{H_1 - h_1}{\delta \sin \theta} dz$$

$$\text{do đó } q_2 = \int_{H_1-h_1}^{H_1} k_t \frac{H_1 - h_1}{\delta \sin \theta} dz = k_t \frac{(H_1 - h_1)h_1}{\delta \sin \theta} \quad (4.39)$$

Lưu lượng toàn phần qua tường nghiêng có dạng:

$$q = q_1 + q_2 = k_t \left[\frac{(H_1 - h_1)^2 - z_o^2}{2\delta \sin \theta} + \frac{(H_1 - h_1)}{\delta \sin \theta} h_1 \right] = k_t \frac{H_1^2 - h_1^2 - z_o^2}{2\delta \sin \theta} \quad (4.40)$$

Thấm qua thân đập phía sau tường nghiêng được chia thành ba phân đoạn:
 1) Phân nêm tam giác dưới tường nghiêng, kể từ điểm C đến mặt cắt 1 - 1 (gọi là phân đoạn I); 2) Đoạn giữa mặt cắt 1-1 và 2-2 (phân đoạn II); 3) Đoạn từ mặt cắt 2-2 đến điểm C ở chân mái dốc hạ lưu (phân đoạn III).

Đối với phân đoạn I, với giả thiết lưu lượng thấm là q_d (bỏ qua q_1), N. N. Pavolopxki đã lập công thức tính lưu lượng thấm có dạng:

$$q_d = \int_{H_1-h_2-z_o}^{H_1-z_o} k_d \frac{h_1 - h_2}{m\xi} d\xi = k_d \frac{h_1 - h_2}{m} \ln \frac{H_1 - z_o}{H_1 - h_2 - z_o} \quad (4.41)$$

Trong đó: k_d - hệ số thấm của đập; các kí hiệu khác xem hình 4-19.

Cân bằng phương trình (4.39) với (4.41) ta có:

$$k_d \frac{h_1 - h_2}{m} \ln \frac{H_1 - z_o}{H_1 - h_2 - z_o} = k_t \frac{(H_1 - h_1)h_1}{\delta \sin \theta} \quad (4.42)$$

Đối với phân đoạn II, phương trình lưu lượng thấm là:

$$\frac{q}{k_d} = \frac{h_2^2 - h_3^2}{2L} \quad (4.43)$$

Trong đó: $L = L_o - m_1 h_3$.

Phương trình lưu lượng thấm qua phân đoạn III được xác định tương tự như bài toán 1 và có dạng:

$$\frac{q}{k} = \frac{a_o}{m_1} \left(1 + \ln \frac{a_o + H_2}{a_o} \right) \quad (4.44)$$

Khi xét đến lưu lượng q_1 với giả thiết lượng nước thấm sau khi qua tường nghiêng không đủ làm bão hòa khối đất nằm trực tiếp ở phía dưới nó cho nên sẽ rơi tự do theo các kẽ hở của khối đất này, vì vậy phương trình thấm ở nêm thượng lưu của thân đập (dưới tường nghiêng) có dạng:

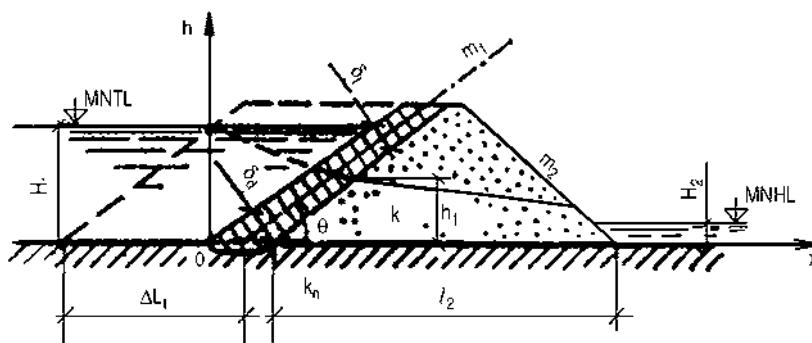
$$h_1^2 - h_2^2 = \frac{2\eta(H_1 - h_1)h_1L_1}{\delta \sin \theta} \cdot \frac{\eta L(2H_1 - 2h_1 + z_o)}{3\delta \cos \theta} \quad (4.45)$$

Trong đó η - tương quan hệ số thấm của tường với đập, $\eta = \frac{k_t}{k_d}$.

Phương trình đường bão hòa có thể xác định gần đúng theo công thức:

$$y = \sqrt{h_1^2 - \frac{2q}{k_d} x} \quad (4.46)$$

b) Giải theo phương pháp biến đổi tường nghiêng (hình 4-20)



Hình 4-20

Nội dung phương pháp biến đổi tường nghiêng tương tự như biến đổi lõi giữa, nhằm đưa bài toán thấm qua đập không đồng chất (có tường nghiêng) trở thành bài toán thấm qua đập đồng chất.

Điều kiện đặt ra là tổn thất cột nước thấm qua tường nghiêng và qua khối đất thay thế phải bằng nhau.

Chiều rộng của khối đất thay thế ΔL_t được xác định theo quan hệ:

$$\Delta L_t = \delta_{trb} \frac{k}{k_t} \sin \theta \quad (4.47)$$

Trong đó:

δ_{trb} - chiều dày trung bình của tường nghiêng, $\delta_{trb} = \frac{\delta_t + \delta_d}{2}$;

δ_t, δ_d - chiều dày tường ở mặt cắt qua mép nước và dưới chân tường, đo theo phương vuông góc với tường (hình 4-20);

θ - góc nghiêng của mái dốc tường so với mặt nằm ngang;

$$k'_t = k_t + \frac{2k_n \cdot \delta_{trb}}{\pi(H_1 + h_1) \sin \theta} \cdot \text{arch}\left(\frac{2\ell_2}{\delta_d} \sin \theta\right); \quad (4.48)$$

k_n - hệ số thấm của nền.

Sau khi biến đổi tường (xác định được ΔL_t), bài toán thấm được giải với sơ đồ đập đồng chất trên nền không thấm.

Bài toán 8: Thám qua lõi giữa đập đá đổ bằng đất dính [trên nền không thấm (hình 4-21)].

Độ hạ đường bão hòa, khi $L/H_1 < 0,5$ và $\frac{k_d}{k_n} > 50$

$$h_o = 0,65 \frac{b}{1 - \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right)} \quad (4.49)$$

Gradian dòng thám đi ra mái dốc hạ lưu của lối:

$$\left. \begin{array}{l} J_t = \sin \alpha ; \\ J_n = \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta ; \\ J = \frac{\sin \alpha}{\cos \beta} . \end{array} \right\} \quad (4.50)$$

Trong đó:

β - góc tạo bởi tiếp tuyến của dòng thấm ở điểm ra mái dốc hạ lưu với mái dốc hạ lưu, lấy theo lưới thấm:

α - góc nghiêng của mái dốc hạ lưu so với mặt nằm ngang.

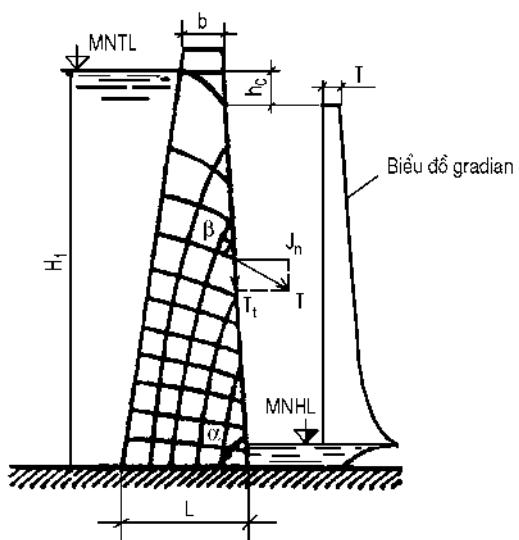
Lưu lượng thẩm qua lõi:

$$q = K_c \Omega \quad (4.51)$$

Trong đó:

K_ℓ - hệ số thẩm của lõi;

Ω - diện tích biểu đồ gradiant thẩm J (hình 4-21).



Hình 4-21. Lõi đập trên nền không thấm

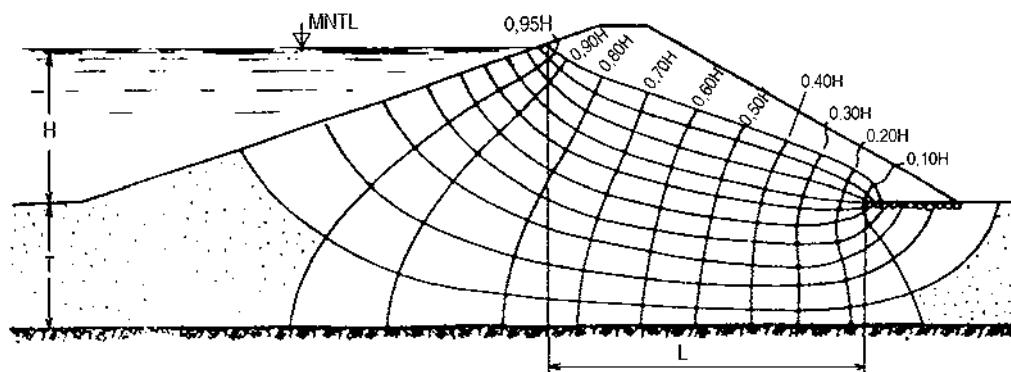
4.2.4. Thấm qua đập trên nền thấm n ớc chiều dày có hạn

a) Trường hợp tổng quát

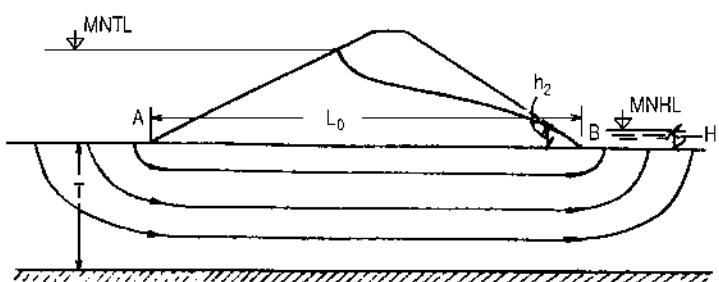
Tuỳ thuộc vào cấu tạo vật liệu của đập và nền, sự chuyển động thấm qua đập và nền sẽ rất khác nhau.

Trong trường hợp đập và nền là đất đồng chất, khi hệ số thấm của nền bằng hoặc lớn hơn hệ số thấm của đập ($K_n \geq K_d$), dòng thấm có xu hướng đi từ đập xuống nền (hình 4-22), nghĩa là ảnh hưởng nền đối với thấm trong thân đập là rất đáng kể và rõ rệt.

Để đơn giản bài toán, trong trường hợp $K_n \neq K_d$, N. N. Pavolopksi đã sử dụng giả thiết thấm qua đập và nền là độc lập nhau với đường dòng phân chia đi qua đáy đập. Lưu lượng thấm chung được xem là $q = q_d + q_n$, trong đó q_d và q_n tương ứng là lưu lượng thấm qua đập và qua nền (hình 4-23).



Hình 4-22. Sơ đồ lưới thấm qua đập và nền



Hình 4-23. Sơ đồ thấm độc lập qua đập và nền

Lưu lượng thấm qua nền với giả thiết ở trên được xác định theo công thức (hình 4-23):

$$q_n = K_n \frac{H_1 - H_2}{nL_o} T \quad (4.52)$$

Trong đó: n - hệ số koeffi đến độ tăng chiều dài của đường dòng thấm ở nền so với bề rộng đáy L_o , phụ thuộc vào bề rộng L_o và chiều dày tầng nền thấm nước T , lấy giá trị theo bảng 4-1.

Bảng 4-1. Giá trị hệ số $n = f(L_o/T)$

L_o/T	20	5	4	3	2	1
n	1,15	1,18	1,28	1,30	1,40	1,87

S. N. Numérőp đề nghị công thức tính lưu lượng thấm qua nền:

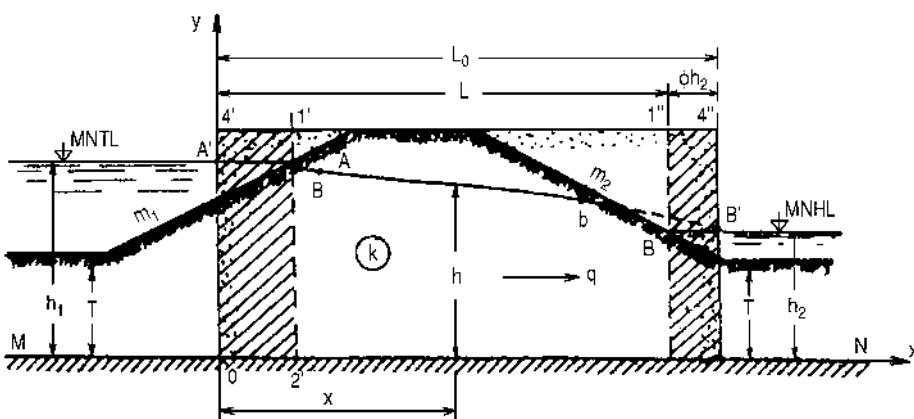
$$q_n = K_n \frac{H_1 - H_2}{L_o + 0,88T} T \quad (4.53)$$

Trong đó: H_1 và H_2 - chiều sâu nước ở thượng và hạ lưu.

Nếu hạ lưu có vật thoát nước thì L_o được tính từ chân đập thượng lưu đến vật thoát nước.

b) Các bài toán thấm qua đập đất và nền đất đồng chất n - ớc với chiều dày thấm có hạn trong tr- ờng hợp $K_d \approx K_n$.

Bài toán 9: Hạ lưu có nước, không có vật thoát nước (hình 4-24).

**Hình 4-24. Sơ đồ thấm qua đập và nền đồng chất ($K_n = K_d = K$)**

Sử dụng phương pháp biến đổi mái dốc thượng lưu và hạ lưu bằng các khối đất thẳng đứng (S. N. Numérőp) và sử dụng giả thiết đập đồng chất (bao gồm cả phần đập và nền có hệ số thấm K) trên tầng không thấm MN (R. R. Tsugaép), công thức lưu lượng qua đập và nền được biến đổi có dạng (hình 4-24):

$$\frac{q}{K} = \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L_o} \quad (4.54)$$

Trong đó:

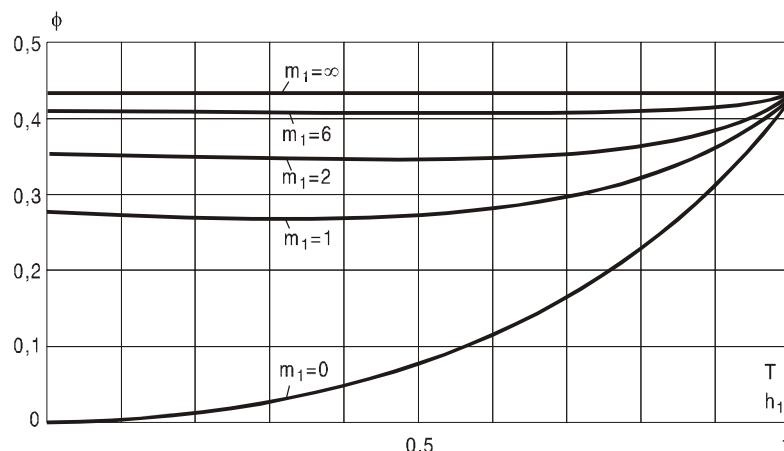
h , và h_2 - là các tung độ cột nước thượng và hạ lưu đập ứng với tọa độ yox (trục ox lấy ngang đáy của nền thấm nước);

$L_o = L + \phi h_1 + \phi h_2$, ϕ - hệ số biến đổi phụ thuộc vào hệ số mái dốc và tỉ số T/h_1 , lấy theo đồ thị hình 4-25 của S. N. Numérőp.

Đối với trường hợp $m = 2 \div 6$, có thể lấy $\phi = 0,4$.

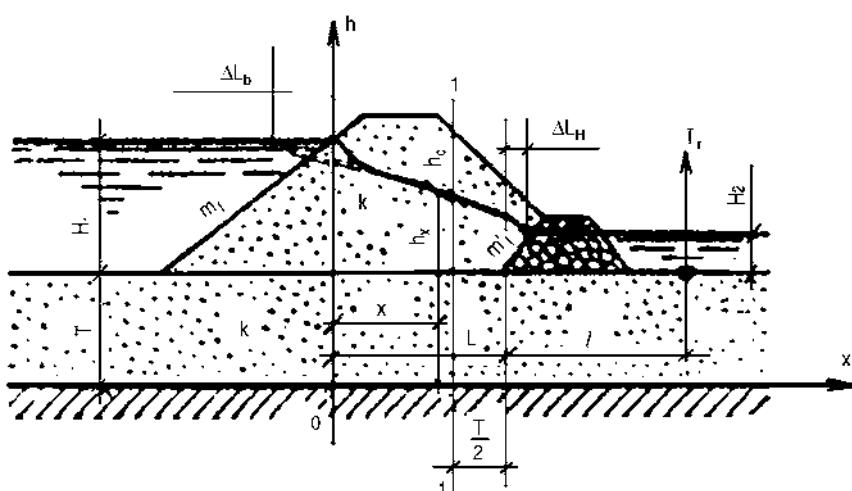
Phương trình đường bão hòa được thể hiện bằng công thức:

$$y = \sqrt{h_1^2 - \frac{x}{L_o} (h_1^2 - h_2^2)} \quad (4.54')$$



Hình 4-25. Đồ thị quan hệ $\phi = f(m_1, T/h_1)$

Bài toán 10: Hạ lưu có nước, có vật thoát nước lăng trụ (hình 4-26).



Hình 4-26. Sơ đồ thám qua đập và nền đồng chất $K_d = K_n = K$

Phương trình lưu lượng thấm qua đập và nền:

$$\frac{q}{K} = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L_b + \Delta L_H} + \frac{(H_1 - H_2)T}{L_b + 0,4T} \quad (4.55)$$

Trong đó:

$$L_b = L + \Delta L_b ; \Delta L_b = 0,4(H_1 + T) ;$$

$$\Delta L_H = \frac{m'_1 H_2}{3}$$

Phương trình đường bão hoà giữa mặt cắt 1-1 và vật thoát nước:

$$h_x = \sqrt{h_c^2 - (h_c^2 - H_2^2) \frac{x - L + T/2}{T/2 + \Delta L_H}} \quad (4.56)$$

Trong đó:

$$h_c = \sqrt{(H_1 - T)^2 - \frac{2q}{K} \left(L_b - \frac{T}{2} \right)} - T \quad (4.57)$$

Phương trình đường bão hoà giữa mặt cắt 1-1 và trực tung Oh:

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{K} \left(L - \frac{T}{2} - x \right) + (T + h_c)^2} - T \quad (4.58)$$

Trong đó: Mặt cắt 1-1 là mặt cắt qua điểm uốn của đường bão hoà.

Gradient thấm ra hạ lưu J_r xác định theo công thức:

$$J_r = \frac{1}{T \sqrt{e^{\pi l/T} - 1}} \cdot \frac{q_H}{K} \quad (4.59)$$

Trong đó:

$$0,01 < \frac{l}{T} \leq +\infty ;$$

$$\frac{q_H}{K} = \frac{h_c - H_2}{\frac{T}{2} + 0,4T} \cdot T \quad (4.60)$$

Đường bão hoà được chỉnh bằng mắt ở đoạn $h_x \geq (H_1 + T) - \frac{q}{K}$.

Bài toán 11: Hạ lưu có nước, vật thoát nước gối nghiêng bề mặt (hình 4-27).

Giá trị q và h_r được xác định bằng thử dần từ hệ các phương trình sau:

$$\frac{q}{K} = \frac{(H_1 + T)^2 - (H_2 + T + h_r)^2}{2(L_b - m_2 h_r)} ; \quad (4.61)$$

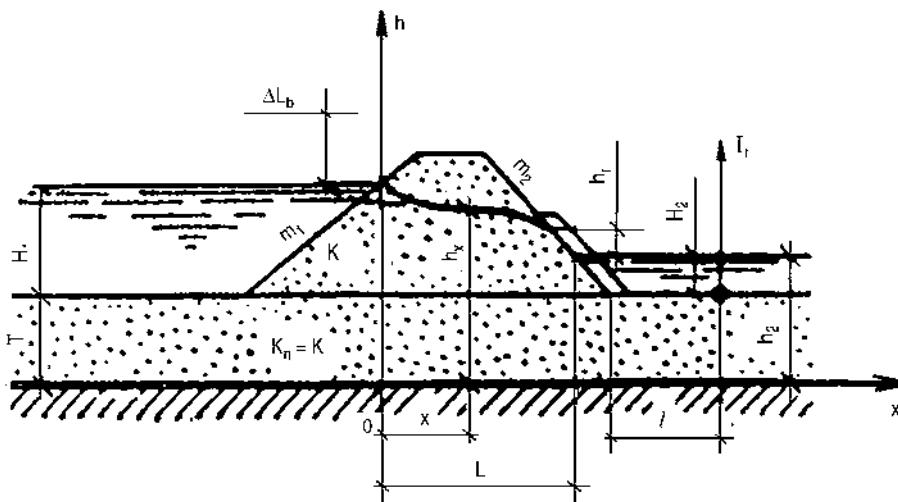
$$\frac{q}{K} = \frac{h_r}{0,5 + m_2} \left(1 + \frac{H_2}{\alpha_m H_2 + h_r} \right) + \frac{h_r T}{(0,5 + m_2) h_r + m_2 H_2 + 0,4T} \quad (4.62)$$

Trong đó:

$$L_b = L + \Delta L_b ; \alpha_m = \frac{m_2}{2(0,5 + m_2)^2} ; \Delta L_b = 0,4(H_1 + T) .$$

Phương trình đường bão hoà:

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{K} (L - m_2 h_r - x) + (h_r + H_2 + T)^2} \quad (4.63)$$



Hình 4-27. Sơ đồ thẩm qua đập và nền đồng chất có VTN bề mặt

Gradient dòng thẩm ra hạ lưu J_r được xác định theo công thức (4.59).

Trong đó:

$$\frac{q_H}{K} = \frac{h_r T}{(0,5 + m_2)h_r + m_2 H_2 + 0,4T} \quad (4.64)$$

Đường bão hoà được chỉnh sửa bằng mắt ở vùng:

$$h_x \geq (H_1 + T) - \frac{q}{K}$$

Bài toán 12: Đập và nền đồng chất ($K_n = K_d = K$), hạ lưu không có nước, vật thoát nước ống dọc (hình 4-28).

Phương trình lưu lượng thẩm qua đập và nền:

$$\frac{q}{K} = \frac{H_1^2}{2L_b} + \frac{H_1 T}{L_b + 0,4T} \quad (4.65)$$

Trong đó:

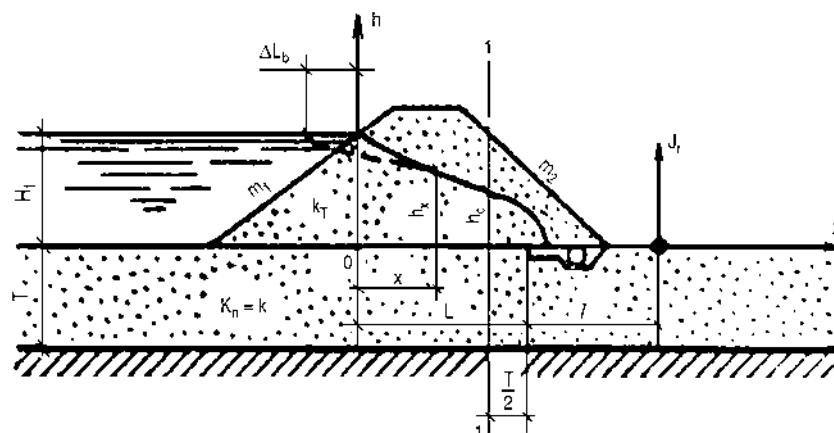
$$L_b = L + \Delta L_b ; \Delta L_b = 0,4(H_1 + T)$$

Tung độ đường bão hoà ở đoạn giữa mặt cắt 1-1 và vật thoát nước

$$h_x = \frac{h_c}{T} \sqrt{\left[\left(\frac{T}{h_c} \right)^2 - 1 \right] \left(2 \frac{L - x}{T} \right) + 1} \quad (4.66)$$

Tung độ đường bão hoà ở đoạn giữa mặt cắt 1-1 và trực Oh:

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{K} \left(L - \frac{T}{2} \cdot x \right) + (T + h_c)^2} - T \quad (4.67)$$



Hình 4-28. Sơ đồ thám qua đập và nền đồng chất, có VTN óng dọc

Biểu thức građian dòng thám ra hạ lưu:

$$J_r = \frac{1}{T\sqrt{e^{\pi l/T-1}}} \frac{q_H}{K}, \quad (4.68)$$

$$\text{Trong đó: } 0,01 \leq \frac{l}{T} \leq +\infty; \frac{q_H}{K} = \frac{h_c T}{\frac{T}{2} + 0,4T}$$

Đại lượng h_c trong các công thức (4.66) ÷ (4.68) xác định theo quan hệ sau:

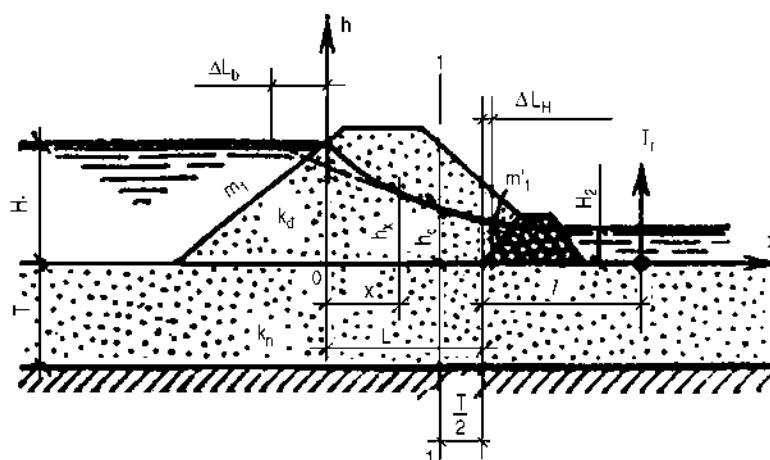
$$h_c = \sqrt{(H_1 - T)^2 - 2 \frac{q}{K} \left(L_b - \frac{T}{2} \right) - T} \quad (4.69)$$

Đường bão hoà được hiệu chỉnh bằng mắt trong vùng

$$h_x \geq (H_1 + T) - \frac{q}{K}$$

c) Các bài toán thám qua đập và nền đất đồng chất trên nền thám với chiều dày tầng thám n- ớc có hạn, khi $K_d < K_n$.

Bài toán 13: Hạ lưu có nước, vật thoát nước lảng trụ (hình 4-29).



Hình 4-29. Sơ đồ thám qua đập và nền với VTN lảng trụ ($K_d < K_n$)

Lưu lượng thấm qua đập và nền ($q = q_d + q_n$):

$$q = k_d \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L_b} + K_n \frac{(H_1 - H_2)T}{L_b - \Delta L_H + 0,4T} \quad (4.70)$$

Trong đó:

$$\begin{aligned} L_b &= L + \Delta L_b + \Delta L_H ; \Delta L_H = m' \frac{H_2}{3} ; \\ \Delta L_b &= \frac{\sigma \alpha_3 + \alpha_1 \alpha_2}{\sigma + \alpha_1} ; \sigma = \sqrt{\frac{K_n}{K_d}} ; \\ \alpha_1 &= 2m_1 \frac{H_1 - H_2}{T} + \frac{1,32}{m_1} - 1; \\ \alpha_2 &= \frac{m_1(H_1 - H_2)}{2m_1 + 1} ; \alpha_3 = m_1(H_1 - H_2) + 0,4T . \end{aligned}$$

Tung độ đường bão hoà:

1) Đoạn giữa mặt cắt 1-1 và vật thoát nước:

$$h_x = \sqrt{h_c^2 - (h_c^2 - H_2^2) \frac{x - L + T/2}{T/2 + \Delta L_H}} ; \quad (4.71)$$

2) Đoạn giữa mặt cắt 1-1 và trực tung:

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{K_d} (L - x) + (h_c + \frac{K_n}{K_d} T)^2 - \frac{K_n}{K_d} T} \quad (4.72)$$

Đại lượng h_c trong các công thức (4.71) và (4.72) xác định theo quan hệ:

$$h_c = \sqrt{(H_1 + \frac{K_n}{K_d} T)^2 - 2 \frac{q}{K_d} \left(L + \Delta L_b - \frac{T}{2} \right) - \frac{K_a}{K_d} T} \quad (4.73)$$

Gradient dòng thấm ra hạ lưu tính theo công thức (4.68), trong đó:

$$\frac{q_H}{K_n} = \frac{(H_1 - H_2)T}{L_b + \Delta L_H + 0,4T}$$

Đường bão hoà được chỉnh sửa bằng trực giác ở vùng $h_x \geq H_1 - \frac{q}{K_d}$.

Bài toán 14: Đập trên nền thấm nước chiều dày có hạn, có VTN ống dọc, hạ lưu không có nước, với $K_d < K_n$ (hình 4-30).

Lưu lượng thấm qua đập và nền:

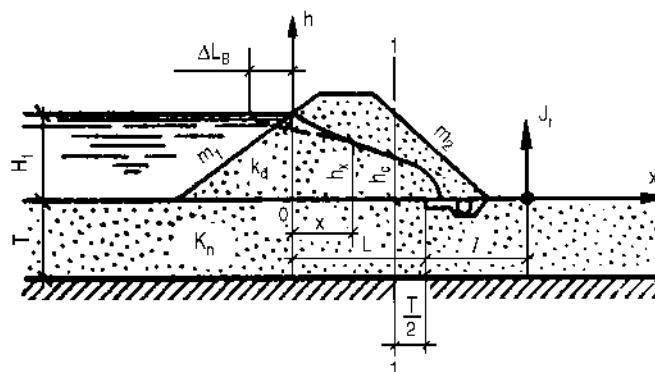
$$q = q_d + q_n = K_d \frac{H_1^2}{2L_b} + K_n T \frac{H_1}{L_b + 0,4T} ; \quad (4.74)$$

Trong đó:

$$L_b = L + \Delta L_b ; \Delta L_b = \frac{\sigma \alpha_3 + \alpha_1 \alpha_2}{\sigma + \alpha_1} ;$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{K_n}{K_d}} ; \alpha_1 = 2m_1 \frac{H_1}{T} + \frac{1,32}{m_1} - 1 ;$$

$$\alpha_2 = \frac{m_1 H_1}{2m_1 + 1} ; \alpha_3 = m_1 H_1 + 0,4T$$



Hình 4-30. Sơ đồ đập có VTN ống dọc

Tung độ đường bão hoà:

- Ở đoạn giữa mặt cắt 1-1 và vật thoát nước

$$h_x = \frac{h_c^2}{T} \sqrt{\left[\left(\frac{T}{h_c} \right)^2 - 1 \right] \left(1 + 2 \frac{L-x}{T} \right) + 1} \quad (4.75)$$

- Ở đoạn giữa mặt cắt 1-1 và trực tung

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{K_d} \left(L + \frac{T}{2} - x \right) + \left(h_c + \frac{K_n}{K_d} T \right)^2} - \frac{K_n}{K_d} T \quad (4.76)$$

Gradient dòng thấm ra hạ lưu xác định theo công thức:

$$J_x = \frac{1}{T \sqrt{e^{\pi l/T-1}}} \frac{q_H}{K_n},$$

Trong đó:

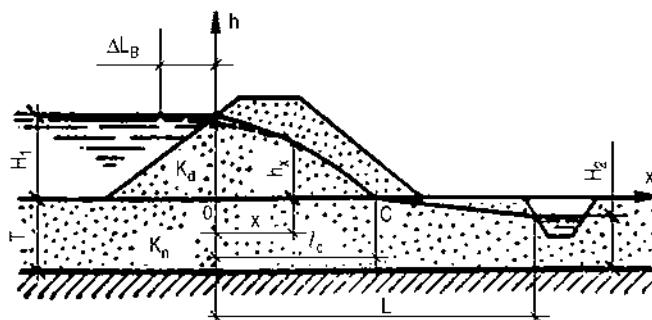
$$0,01 \leq \frac{l}{T} \leq +\infty ; \frac{q_H}{K_n} = \frac{h_c T}{\frac{T}{2} + 0,4T}$$

$$h_c = \sqrt{\left(H_1 + \frac{K_n}{K_d} T \right)^2 - 2 \frac{q}{K_d} \left(L_b - \frac{T}{2} \right) - \frac{K_n}{K_d} T} \quad (4.77)$$

Đường bão hoà được chỉnh sửa theo trực giác đối với vùng

$$h_x \geq H_1 - \frac{q}{K_d}$$

Bài toán 15: Đập đồng chất trên nền thấm nước chiều dày có hạn, hạ lưu đập có rãnh thoát nước đặt thấp hơn đáy đập với $K_n > K_d$, (hình 4-31).



Hình 4-31. Sơ đồ đập có rãnh thoát nước ở hạ lưu

Lưu lượng thấm qua đập và nền:

$$q = q_d + q_n = K_d \frac{H_1^2}{2(\Delta L_b + L_c)} + K_n T \frac{H_1}{\Delta L_b + L_c} \quad (4.78)$$

Trong đó:

$$L_c = \frac{\frac{K_n}{K_d} \left[2H_1 TL - (T^2 - H_2^2) \Delta L_b \right] + H_1^2 L}{\frac{K_n}{K_d} (2H_1 T + T^2 - H_2^2) + H_1^2} \quad (4.79)$$

Tung độ đường bão hoà:

- Ở đoạn nằm bên phải điểm C

$$h_x = \sqrt{T^2 - (T^2 - H_2^2) \frac{x - l_c}{L - l_c}} - T ; \quad (4.80)$$

- Ở đoạn nằm bên trái điểm C

$$h_x = \sqrt{2 \frac{q}{K_d} (l_c - x) + \left(\frac{K_n}{K_d} T \right)^2} - \frac{K_a}{K_d} T \quad (4.81)$$

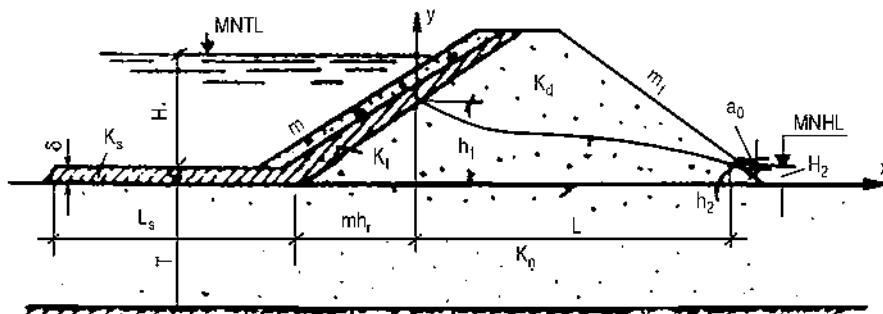
Đường bão hoà được chỉnh sửa ở khu vực có

$$\left(h_x + \frac{K_n}{K_d} T \right) \geq \left(H_1 + \frac{K_n}{K_d} T \right) - \frac{q}{K_d}$$

4.2.5. Thấm qua đập đất có vật chống thấm (VCT) trên nền thấm n ớc chiều dày có hạn

Bài toán 16: Vật chống thấm loại tường nghiêng sân trước bằng đất.

a) Trường hợp tổng quát: Hệ số thấm của đập và nền khác nhau $K_n \neq K_d$, hạ lưu có nước (hình 4-32)



Hình 4-32. Sơ đồ thấm qua đập đất có tường nghiêng sân trước trên nền thấm nước

Sử dụng phương pháp giải của N. N. Pavolôpxki có sự bổ sung của A. E. Damarin với các giả thiết sau:

- 1) Tồn thất cột nước thấm qua lớp bảo hộ tường nghiêng bằng không;
- 2) Tường nghiêng có chiều dày trung bình δ và mái dốc trung bình;
- 3) Tồn thất cột nước dọc sân trước biến đổi theo đường thẳng.

Lưu lượng thấm ở phần phía trái trực y với thấm có áp được xác định theo công thức:

$$q = K_n \frac{(H_1 - h_1)T}{L_s + mh_1 + 0,4T} \quad (4.82)$$

Trong đó:

L_s - chiều dài sân trước.

Thấm qua phần phía phải trực y có mặt bão hòa là thấm không áp. Lưu lượng thấm xác định theo công thức:

$$q = q_d + q_n = K_d \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L} + K_n \frac{h_1 - h_2}{L + 0,4T} \cdot T \quad (4.83)$$

Trong đó:

$h_2 = a_0 + H_2$;

a_0 - độ cao từ điểm đường bão hòa ra mái dốc hạ lưu so với mực nước hạ lưu,

$$a_0 = h_2 - H_2 = \frac{L}{m_1} - \sqrt{\left(\frac{L}{m_1}\right)^2 - (H_1 - H_2)^2} \quad (4.84)$$

Giá trị h_1 và h_2 được xác định bằng thử dần từ hệ hai phương trình (4.82) và (4.83), trên nguyên tắc tự cho a_0 sao cho h_1 hoặc h_2 tính theo các công thức (4.82) và (4.83) là cân bằng nhau.

Phương trình đường bão hòa có dạng:

$$\frac{q_1}{K_d} = \frac{h_1^2 - y^2}{2x} \quad (4.85)$$

b) Thẩm qua đập có tường nghiêng sân trước khi hạ lưu đập có và không có vật thoát nước, với $K_n = K_d$ (hình 4-33).

Lưu lượng thẩm qua đập và nền:

$$q = \frac{K_n \cdot \Delta}{\phi} + \frac{K_t (1 + m_1^2) \Delta (2H_1 - \Delta)}{2\delta_i} \quad (4.86)$$

Trong đó:

$$\phi = \frac{\text{th}(\alpha L_s)}{\alpha(T - \delta_s)} ; \quad \alpha = \sqrt{\frac{K_d}{K_s \delta_s (T - \delta_s)}} ; \quad \Delta = \frac{B - \sqrt{B^2 - AC}}{A} ;$$

$$A = \frac{1}{L_1 + \Delta L} + \frac{K_t(1+m_1^2)}{K_n \delta_t}; \quad B = \frac{H_1 + T}{L_1 + \Delta L} + \frac{1}{\phi} + \frac{K_t H_1(1+m_1^2)}{K_n \delta_t};$$

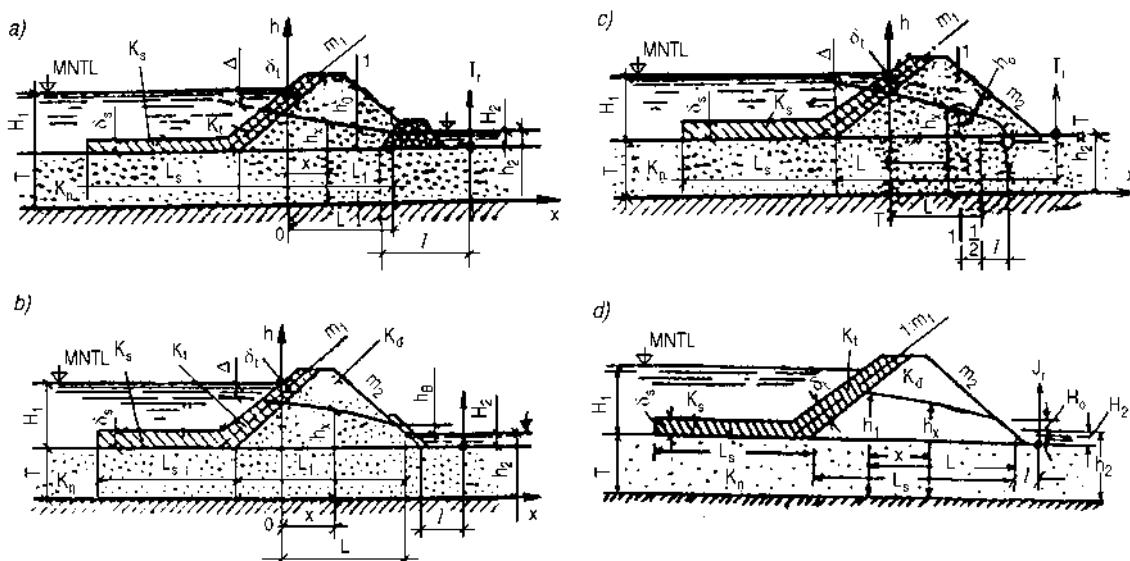
$$C = \frac{(H_1 + T)^2 - h_2^2}{L_1 + \Delta L} ;$$

$\Delta L = 0,4h_2$ đối với sơ đồ 4-33 b và 4-33 c.

$\Delta L = 0,4h_2 + 0,4 \left(h_2 - \frac{q}{K_n m'_n} \right)$ đối với sơ đồ 4-33 a. Trường hợp này bài toán

giải bằng thử dân, ban đầu cho $\Delta L = 0,4h$.

Đường bão hòa được xây dựng theo các sơ đồ bài toán 13, 14, 15.



Hình 4-33. Sơ đồ đập có tường nghiêng sân trước trên nền thấm nước

a) VTN lăng trụ; b) VTN bê mặt; c) VTN ống dọc; d) Không có VTN.

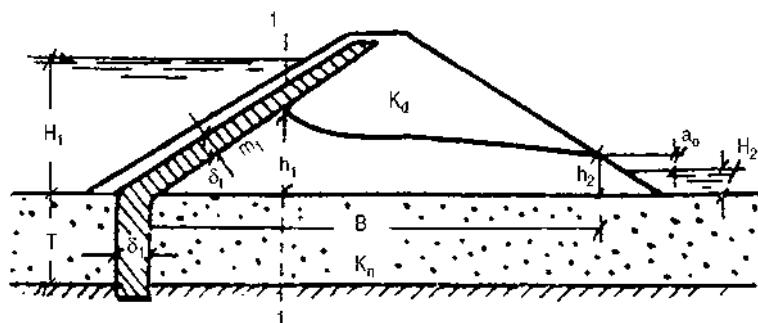
Gradiant dòng thấm đi ra hạ lưu xác định theo công thức (4.68), trong đó giá trị h_c được tính theo quan hệ sau (đối với sơ đồ 4-33 a và c):

$$h_c = \sqrt{H_2^2 + 0,3T^2 + T \frac{q}{K_d} - 0,55T} \quad (4.87)$$

Đối với sơ đồ 4-33 b và d thì giá trị $\frac{q_H}{K_n}$ được xác định theo công thức:

$$\frac{q_H}{K_n} = \frac{h_r T}{(0,5 + m_2) h_r + H_2 m_2 + 0,4T}$$

Bài toán 17: Vật chống thấm loại tường nghiêng và tường răng (hình 4-34).



Hình 4-34. Sơ đồ thấm trong đập có tường nghiêng và tường răng

Phương trình lưu lượng thấm qua tường nghiêng và tường răng:

$$q = K_t \frac{H_1^2 - z_o^2 - h_1^2}{2\delta_t \sin \theta} + K_r \frac{(H_1 - h_1)T}{\delta_r} \quad (4.88)$$

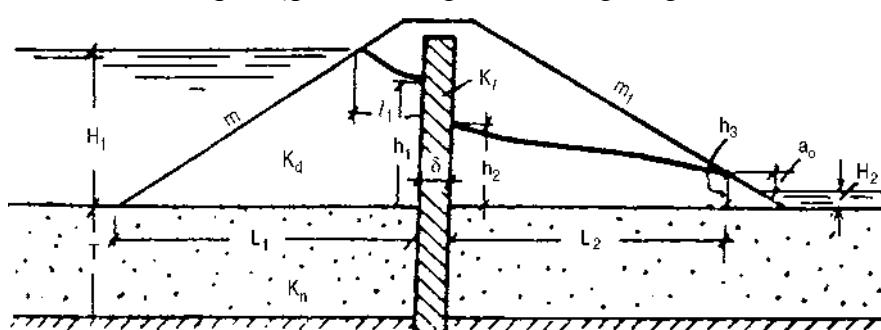
Phương trình lưu lượng thấm viết cho đập và nền:

$$q = K_d \frac{h_1^2 - h_2^2}{2(B - m_1 h_1)} + K_n \frac{(h_1 - h_2)T}{B - m_1 h_1 + 0,4T} \quad (4.89)$$

Trong đó: $h_2 = a_o + H_2$.

Đường bão hòa được xây dựng như bài toán 16 theo sơ đồ 4-33 d.

Bài toán 18: Thấm qua đập đất có lõi giữa và tường răng (hình 4-35).



Hình 4-35

Sơ đồ bài toán được chia thành 3 phần: 1) Phía trước lõi và tường răng (phân đoạn I); 2) Lõi và tường răng; 3) Phân nằm sau lõi và tường răng (phân đoạn III).

Lưu lượng thấm qua phân đoạn I gồm lưu lượng qua phân đoạn I của đập (có thể giải theo phương pháp biến đổi mái dốc thương lưu đập), và lưu lượng thấm qua nền (xem như thấm có áp), do đó công thức lưu lượng là:

$$q = K_d \frac{H_1^2 - h_1^2}{2(L_1 - 0,4H_1)} + K_n \frac{(H_1 - h_1)}{L_1 + 0,4T} T \quad (4.90)$$

Lưu lượng viết qua lõi và tường có dạng (xem $K_\ell = K_v$):

$$q = K_\ell = \frac{(h_1 + T)^2 - (h_2 + T)^2}{2\delta} \quad (4.91)$$

Lưu lượng thấm viết cho phân đoạn III:

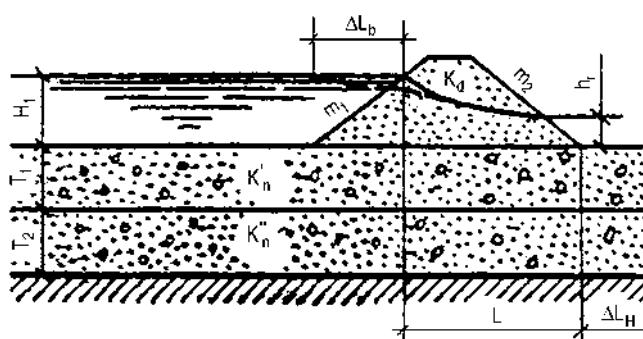
$$q = K_d \frac{h_2^2 - h_3^2}{2L_2} + K_n \frac{h_2 - h_3}{L_2 + 0,4T} \quad (4.92)$$

Trong đó: $h_3 = a_o + H_2$. Các kí hiệu khác xem hình 4-35.

Giải hệ ba phương trình (4.90) ÷ (4.92) xác định được các đại lượng q , h , và h_2 khi biết a_o (cho trước a_o và thử dần).

Trong trường hợp kết cấu chống thấm (lõi, tường nghiêng, sân trước và tường răng) làm việc có hiệu quả tốt, thì đường bão hòa sau VCT hạ rất thấp và giá trị a_o rất nhỏ, cho nên có thể xem $a_o \approx 0$.

Bài toán 19: Đập đất đồng chất trên nền thấm hai lớp (hình 4-36) trường hợp $K_n'' \approx K_d$.



Hình 4-36. Sơ đồ thấm qua đập đất trên nền thấm hai lớp

Phương trình lưu lượng thấm:

$$q = \frac{H_1}{L_b} \left(K_d \frac{h_r}{2} + K_n' T_1 + K_n'' T_2 \right) \quad (4.93)$$

Trong đó:

$$L_b = L + \Delta L_b + \Delta L_H;$$

Khi $K_n'' / K_n' \geq 10$:

$$\Delta L_b + \Delta L_H = \sqrt{K_n'' m_2 m_1 / K_n'} \quad (4.94)$$

Khi $1 \leq K_n'' / K_n' \leq 10$:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta L_b = 0,5(H_1 + T_2 + T_1 \sqrt{K_n'' / K_n'}); \\ \Delta L_H = 0,5(T_2 + T_1 \sqrt{K_n'' / K_n'}); \end{array} \right\} \quad (4.95)$$

Khi $K_n'' / K_n' < 1$:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta L_b = 0,5(H_1 + T_1 + T_2 K_n'' / K_n'); \\ \Delta L_H = 0,5(T_1 + T_2 K_n'' / K_n'); \end{array} \right\} \quad (4.96)$$

Chiều cao cột nước thấm ra hạ lưu h_r trong trường hợp $K_n'' / K_n' > 5$ được xác định theo công thức:

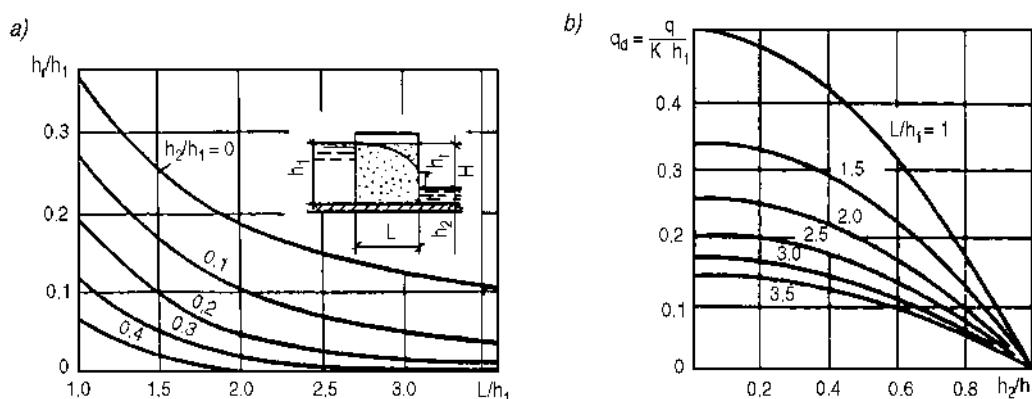
$$h_r = \frac{q \Delta L_H}{K_n' T_1 + K_n'' T_2} \quad (4.97)$$

Phương trình đường bão hòa có thể xác định theo công thức:

$$h_x = \sqrt{H_1^2 - \frac{x}{L - m_2 h_r} (H_1^2 - h_r^2)} \quad (4.98)$$

Đường bão hòa được chỉnh sửa bằng trực giác ở đoạn $h_x \geq H_1 - \frac{q}{K_d}$

Bài toán 20: Thấm qua đê quây bằng đất đồng chất có mái thượng lưu thẳng đứng (hình 4-37).



Hình 4-37. Sơ đồ tính thấm đê quây

Sử dụng lời giải của viện sỹ P. Ia. Polubarinova - Kotrina, chiều cao dòng thấm ra hạ lưu h_r được xác định theo đồ thị hình 4-37 a. Lưu lượng thấm quy đổi q_d trong đê quây được xác định theo đồ thị $q_d = q / (K h_1)$ hình 4-37 b, trong đó K - hệ số thấm của đê quây, h_1 - chiều sâu nước trước đê quây, h_2 - chiều sâu nước sau đê quây.

Trong trường hợp đê quây có bề rộng đáy rất lớn ($L \approx \infty$) và hạ lưu không có nước ($h_2 = 0$), lưu lượng thấm qua đê quây được xác định theo công thức:

$$\frac{q}{K} = 1,346 h_2 \quad (4.99)$$

Đối với đê quây có bề rộng đáy hữu hạn, khi $L/h_1 \geq 1$, có thể lấy gần đúng

$$\frac{q}{K} \approx 1,35 h_r \quad (4.100)$$

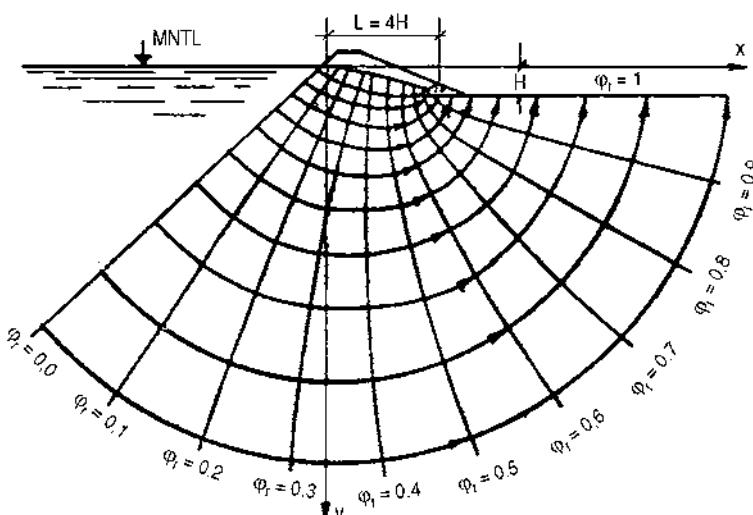
Khi $L/h_1 < 1$ và xu thế L/h_1 giảm dần bằng không ($L/h_1 \rightarrow 0$) thì biểu thức (4.100) sẽ có sai số lớn.

Trường hợp $L = \infty$, $h_2 \neq 0$, tỉ số $q/(Kh_r)$ thay đổi trong phạm vi từ 1,346 đến 1 khi h_2 thay đổi từ 0 đến ∞ .

Đối với đê quây, khi $L/h_1 < 1$ và $h_2 = 0$, có thể lấy

$$\frac{q}{K} \approx \frac{\pi}{2} h_r \quad (4.101)$$

Bài toán 21: Thấm qua đập đất đồng chất trên nền thấm vô hạn.



Hình 4-38. Sơ đồ lưới thấm trong đập đồng chất trên nền thấm vô hạn

Trường hợp đập đất đồng chất trên nền thấm nước vô hạn ($K_d \approx K_n$) có thể sử dụng lời giải theo lý thuyết cơ học chất lỏng của viện sỹ F. A. Nensonxcornhiacốp.

Đối với trường hợp hệ số mái dốc thương lưu của đập $m_1 \approx 1,5$, hạ lưu có vật thoát nước, lưới thấm có dạng như trên hình 4-38.

Các thông số thấm (q , J , v , ...) có thể xác định từ lưới thấm.

Ảnh hưởng của mái dốc thương lưu đối với đường bão hòa và lưới thấm nói chung không lớn, cho nên sơ đồ thấm trên hình 4-38 có thể sử dụng cho trường hợp $m \neq 1,5$.

4.3. THẤM KHÔNG ỔN ĐỊNH TRONG ĐẬP ĐẤT

Về phương diện đảm bảo sự làm việc tin cậy của đập đất thì hiện tượng thấm không ổn định là rất đáng chú ý.

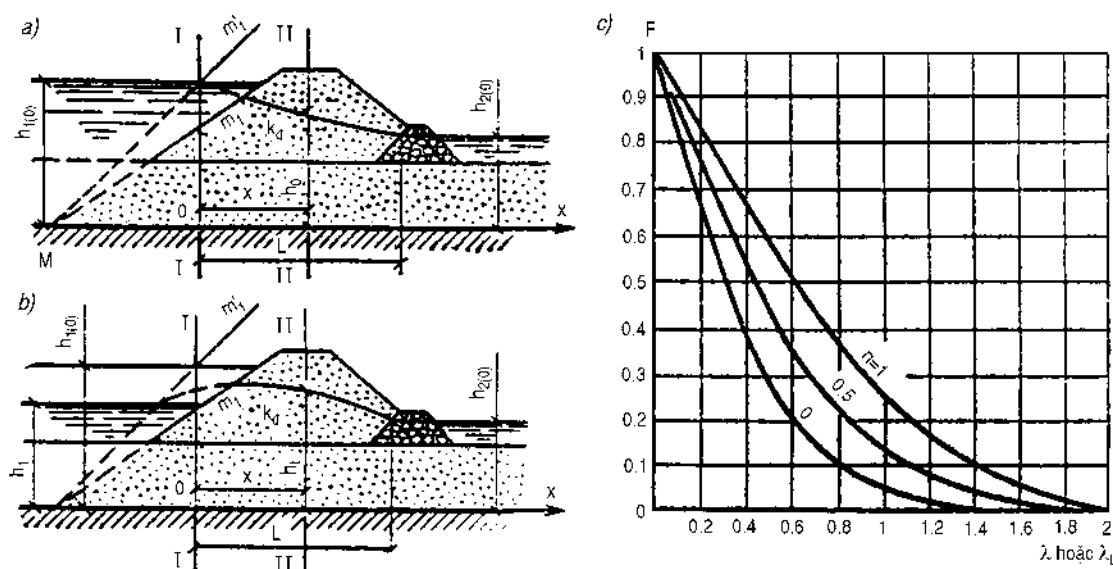
Trường hợp điển hình của thấm không ổn định thường xảy ra khi mực nước hồ rút nhanh theo yêu cầu vận hành, ví dụ cần hạ mực nước hồ để phòng lũ (cắt đỉnh lũ cho hạ du), hoặc xả nước hồ trong tình huống sự cố nào đó của đầu mối công trình thủy.

Khi mực nước ở hồ chứa hạ xuống đột ngột (với tốc độ hạ tương đối lớn) thì mặt bão hòa thấm trong thân đập cũng hạ theo nhưng với tốc độ nhỏ, do đó xuất hiện sự chuyển động ngược chiều và biến đổi gấp (không ổn định) của dòng thấm từ trong đập về phía thượng lưu (hồ chứa). Quá trình thấm không ổn định cũng xảy ra ở hai bên bờ về phía hồ. Sự chuyển động không ổn định và đổi hướng của dòng thấm có thể gây ra mất ổn định (xói, sát lở) đối với vật liệu ở khu vực nêm thượng lưu của đập và kết cấu giàn móng đập.

Dưới đây là các biểu thức tính toán để xác định tốc độ hạ thấp của mặt bão hòa thấm trong thân đập đồng chất và dưới lớp giàn móng đập dạng tường nghiêng bằng đất sét do quá trình rút nước ở hồ chứa.

Thấm không ổn định trong đập đồng chất

Bài toán 22: Tính toán thấm không ổn định trong đập đồng chất theo V. M. Shestacop (hình 4-39).



Vị trí mặt bão hòa thấm trong trường hợp mực nước thượng lưu hạ xuống được chia làm hai giai đoạn:

1) Mặt bão hòa ở thời điểm ban đầu $t = 0$ (hình 4-39 a)

$$h_o = \sqrt{h_{l(o)}^2 - (h_{l(o)}^2 - h_{2(o)}^2)x/L} \quad (4.102)$$

Trong đó x được tính từ mặt cắt I-I và lấy

$$m' = \frac{m_1^2}{m_1 + 0,5}; \quad (4.103)$$

2) Mặt bão hòa sau thời đoạn t (hình 4-39 b)

$$h_t = \left\{ h_o^2 - vt \left[h_{l(o)} + h_l + \frac{m_1(h_{l(o)}^2 - h_{2(o)}^2)}{L} \right] \times \left[F(\lambda, n) - \frac{x + m_1 vt}{L + m_1 vt} F(\lambda_L, n) \right] \right\}^{1/2} \quad (4.104)$$

Trong đó: v - tốc độ hạ trung bình của mực nước thượng lưu;

$$h_l = h_{l(o)} - vt;$$

$F(\lambda, n)$ và $F(\lambda_L, n)$ - các hàm số có giá trị phụ thuộc vào λ và λ_L (lấy theo đồ thị hình 4-39 c);

$$\lambda = n \frac{x}{2\sqrt{at}}; \quad (4.105)$$

$$\lambda_L = h + \frac{L}{2\sqrt{at}}; \quad (4.106)$$

$$n = \frac{m_1 vt}{2\sqrt{at}}; \quad (4.107)$$

$$a = k_d (h_{l(o)} + h_l)/(2\mu);$$

μ - hệ số nhả nước;

$x > 0$ nếu mặt cắt II-II nằm bên phải mặt cắt I-I.

Tính toán trên có thể áp dụng cho trường hợp hạ lưu đập có vật thoát nước bê mặt gối nghiêng hoặc VTN đặt sâu trong đáy đập (VTN gối phẳng hay ống dọc).

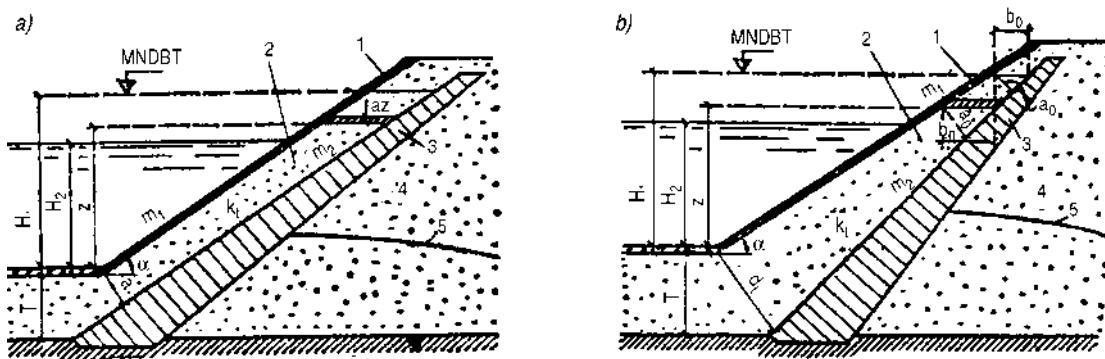
Bài toán 23: Tính toán thấm trong lớp đệm bằng đất dưới kết cấu gia cố bảo vệ mái dốc thượng lưu theo V. P. Nedriga (hình 4-40).

Lời giải được thực hiện cho hai trường hợp:

1) Lớp đệm cát có bề dày không đổi (hình 4-40 a)

2) Lớp đệm cát có bề dày tăng dần từ trên xuống dưới (hình 4-40 b).

Tính toán được tiến hành với điều kiện mực nước hồ hạ đột ngọt (trường hợp vận hành đặc biệt), hoặc rút từ từ (trường hợp vận hành bình thường).



Hình 4-40. Sơ đồ tính thẩm trong lớp đệm thoát nước dưới kết cấu gia cố

- a) Lớp đệm cát chiềudày không đổi; b) Lớp đệm chiềudày thay đổi;
 1- kết cấu gia cố; 2- lớp đệm thoát nước thẩm; 3- tường nghiêng bằng đất sét;
 4- vật liệu thân đập; 5- đường bão hòa sau tường nghiêng.

1) Thời gian hạ thấp mặt bão hòa trong đệm cát có chiềudày không đổi được tính theo các công thức sau (hình 4-40 a):

a) Khi mực nước hồ hạ đột ngột

$$t = \frac{\mu}{k_t \sin \alpha} \left[(H_1 - z) \sqrt{1 + m_1^2} + \left(H_2 \sqrt{1 + m_1^2} + \frac{a}{2} \right) \ln \frac{H_1 - H_2}{z - H_1} \right] \quad (4.108)$$

Trong đó:

μ - hệ số nhả nước của đất, có giá trị được xác định bằng thực nghiệm cho mỗi trường hợp cụ thể; đối với đất cát nhỏ và cỡ hạt trung bình sơ bộ có thể lấy μ = 0,15 ÷ 0,20; với cát thô (hạt lớn) lấy μ = 0,23 ÷ 0,28;

k_t - hệ số thẩm của lớp đệm cát;

α - góc nghiêng của kết cấu gia cố so với mặt nằm ngang;

H₁ - chiềudâuthứtựcủađộchỗnướctrongđemcátởthờiđiểmdầut=0;

H₂ - chiềudâuthứtựcủađộchỗnướctronghồchứasaukhimựcnướchồrútđộtngột;

z - tung độ tức thời của đường bão hòa trong lớp đệm cát $H_1 \geq z \geq H_2$;

m₁ - hệ số mái dốc thương lưu của kết cấu gia cố đập;

a - chiềudâylớpđemcát.

Góc nghiêng α xác định theo công thức:

$$\alpha = \arctg(1/m_1) \quad (4.109)$$

b) Khi mực nước hồ hạ từ từ trên bình diện

$$t = \frac{\mu(H_1 - z)}{2K_t \Delta H \sin \alpha} \left[(H_1 + z) \sqrt{1 + m_1^2} + a \right] \quad (4.110)$$

Trong đó: ΔH - độ chênh lệch cho phép về mực nước trong lớp đệm cát và trong hồ chứa.

2) Đối với lớp đệm cát có chiều dày thay đổi, thời gian hạ đường bão hòa trong đệm cát tính toán như sau (hình 4-40 b):

a) Khi mực nước hồ hạ đột ngọt: tính toán tiến hành cho từng thời đoạn n với giả thiết điều kiện thoát nước thấm từ trong đệm cát là không thay đổi ứng với các thời đoạn tính. Như vậy thời gian hạ đường bão hòa trong mỗi thời đoạn là:

$$\Delta t_n = \frac{\mu b_n L_{tn}}{K_t a_n} \ln \frac{H_{1n} - H_2}{z_n - H_2} \quad (4.111)$$

Các tham số của lớp đệm cát tính toán L_{tn} , a_n , b_n được xác định theo các công thức:

$$L_{tn} = \frac{a_n z_n \sqrt{1 + m_1^2}}{a_t - a_n} \ln \frac{a_t}{a_n} + \frac{a_n}{2} \quad (4.112)$$

$$a_n = a_o + \lambda_2 (H_1 - z) \quad (4.113)$$

$$b_n = b_o + \lambda_1 (H_1 - z) \quad (4.114)$$

Trong đó:

$$a_t = a_o + \lambda_2 H_1 ;$$

$$\lambda_1 = m_1 - m_2 ;$$

$$\lambda_2 = (m_1 - m_2) \sqrt{1 + m_1^2 / (1 + m_1 + m_2)} ;$$

b_o , a_o - chiều rộng và chiều dày của lớp đệm cát thoát nước thấm phía dưới kết cấu gia cố ở thời điểm tính toán ban đầu ($t = 0$).

b) Khi cho trước độ hạ mực nước trong hồ chứa (trường hợp khai thác bình thường), thời gian hạ mực nước được xác định theo công thức sau:

$$t = \frac{\mu}{k_t \Delta H} \left[D(H_1 - z) + N(H_1 - z)^2 - M(H_1 - z)^3 \right] \quad (4.115)$$

Trong đó:

$$\left. \begin{array}{l} D = b_o (AC_1 + 0,5) ; \\ N = \frac{1}{4} [2A(C_1 \lambda_1 - Bb_o) + \lambda_1] ; \\ M = \frac{1}{3} AB \lambda_1 ; \\ A = \frac{1 + m_1 m_2}{m_1 - m_2} ; \\ B = \frac{C_1 - C_2}{H_1 - H_2} ; \\ C_1 = \frac{\ln a_o + \lambda_2 H_1}{a_o} ; \\ C_2 = \ln \frac{a_o + \lambda_2 H_1}{a_o + \lambda_2 (H_1 - H_2)} \end{array} \right\} \quad (4.116)$$

Nếu tính toán tiến hành cho từng thời đoạn với giả thiết các tham số trong phạm vi mỗi thời đoạn là không thay đổi, tương tự như với a_n và b_n tính theo các công thức (4.113) và (4.114), thì biểu thức tính toán Δt_n sẽ có dạng đơn giản hơn, cụ thể là:

$$\Delta t_n = \frac{\mu b_n L_{tn}}{k_t a_n \Delta H} \cdot \Delta z_n \quad (4.117)$$

$$\text{hoặc } \Delta t_n = \frac{\mu b_n}{k_t \Delta H q_{b,n}} \cdot \Delta z_n \quad (4.118)$$

Biểu thức (4.118) có thể sử dụng để tính toán khi biết giá trị lưu lượng quy đổi $q_{b,n}$ đối với từng thời đoạn (theo chế độ vận hành hồ chứa). Tính toán có thể tiến hành trên mô hình ECĐA với $\Delta H = 1$ và $K_t = 1$.

4.4. ÔN ĐỊNH THẤM CỦA ĐẤT

4.4.1. Tổng quát

Trong thân và nền các công trình dâng nước, những vùng có khả năng xảy ra biến dạng thấm nguy hiểm là nơi dòng thấm đi ra bề mặt đất và nơi tiếp xúc giữa các loại đất có tính chất khác nhau (hình 4-41).

Mặt tiếp xúc có thể nằm ngang, thẳng đứng hoặc nghiêng. Hướng chuyển động của dòng thấm có thể trùng với mặt tiếp xúc hoặc vuông góc với mặt tiếp xúc.

Những biến dạng đối với môi trường đất do dòng thấm gây ra có thể là:

Xói ngầm - quá trình di chuyển hoặc cuốn trôi các hạt đất cỡ nhỏ ra khỏi lớp đất dưới tác dụng của dòng thấm. Nếu trong đất chứa các muối hòa tan thì có thể xảy ra xói ngầm hóa học.

Đẩy bức hay gọi là **dùn đất** - sự phá huỷ lớp đất phủ bên trên kéo theo hiện tượng mang cả một khối lượng đất ra khỏi vị trí của nó. Hiện tượng đẩy bức thường xảy ra ở mái hụ lưu của đập đất hoặc ở phần nền ngay phía sau công trình bê tông, nơi có dòng thấm tập trung ra hạ lưu.

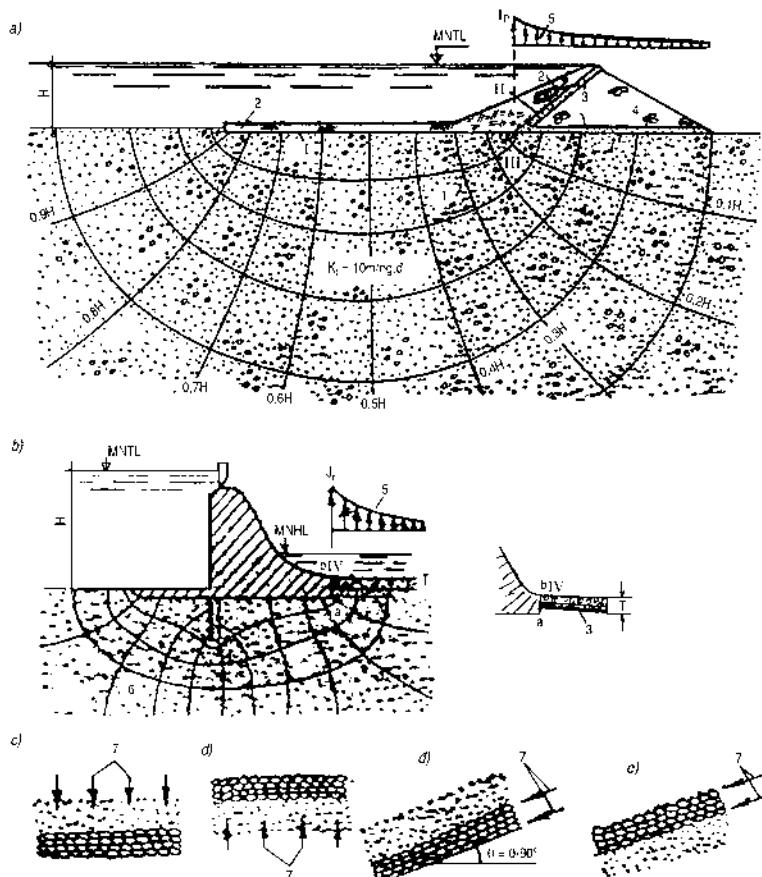
Xói tiếp xúc dọc - sự phá huỷ đất ở vùng tiếp giáp với vật liệu cỡ hạt lớn hơn do tác dụng của dòng thấm hướng dọc theo bề mặt tiếp xúc.

Dùn đất tiếp xúc - hiện tượng phá huỷ đất hạt nhỏ ở vùng tiếp xúc và cuốn trôi hạt nhỏ qua kẽ hổng của đất hạt lớn hơn do tác dụng của thấm hướng vuông góc với bề mặt tiếp xúc.

Bồi lấp hay lắng đọng - quá trình các hạt đất cỡ nhỏ bị dòng thấm mang theo tích tụ lại ở kẽ hổng của khối đất cỡ hạt lớn hơn.

Tách lớp - hiện tượng tách bóc các hạt và nhóm hạt đất sét ở trên các kẽ hổng của lớp lọc dưới tác dụng của dòng thấm đi từ phía lớp lọc qua lớp đất sét.

Những biến dạng thấm kể trên (hoặc tổ hợp các biến dạng) đều nguy hiểm, vì nó có thể gây phá huỷ từng bộ phận riêng hay toàn bộ công trình.



Hình 4-41. Sơ đồ tác động của dòng thấm đến ổn định của đất

- a) Dòng thấm trong đập đất;
- b) Dòng thấm trong đập bê tông;
- c) ~ e) Sơ đồ tính toán dòng thấm tiếp xúc giữa các loại đất khác nhau; I - Xói tiếp xúc; II - Đùn đất tiếp xúc; III - Xói ngầm; IV - Đẩy bục;
1 - đất cát sỏi; 2 - tường nghiêng và sân trước đất bằng sét; 3 -tầng lọc;
4- nêm tựa; 5- đồ thị gradien thấm đi ra; 6- cát; 7- Hướng chuyển động
của dòng thấm; T - Chiều dày lớp phủ (gia tải).

Để đánh giá độ ổn định thấm của đất, sử dụng các đặc trưng sau đây:

a) Đối với đất rời - cấu tạo thành phân hạt, độ chật của các hạt ρ_s , độ chât của đất khô ρ_K , độ ẩm w ;

b) Đối với đất dính - ngoài những tính chất như đối với đất rời, còn sử dụng một số đặc trưng khác là giới hạn chảy W_c , giới hạn lăn (hay giới hạn dẻo) w_p , độ ẩm phân tử tối đa W_m , lực dính khi tách bóc đất C_p .

Phương pháp đánh giá độ ổn định thấm của đất có nhiều loại.

Khi đánh giá cường độ của đất cát và đất hạt thô dùng trong công trình thuỷ, dưới tác dụng thấm, đại lượng đặc trưng rất quan trọng là kích thước kẽ hở giữa các hạt biểu thị bằng lỗ hình tròn đường kính D_i^0 nội tiếp trong các kẽ hổng đó.

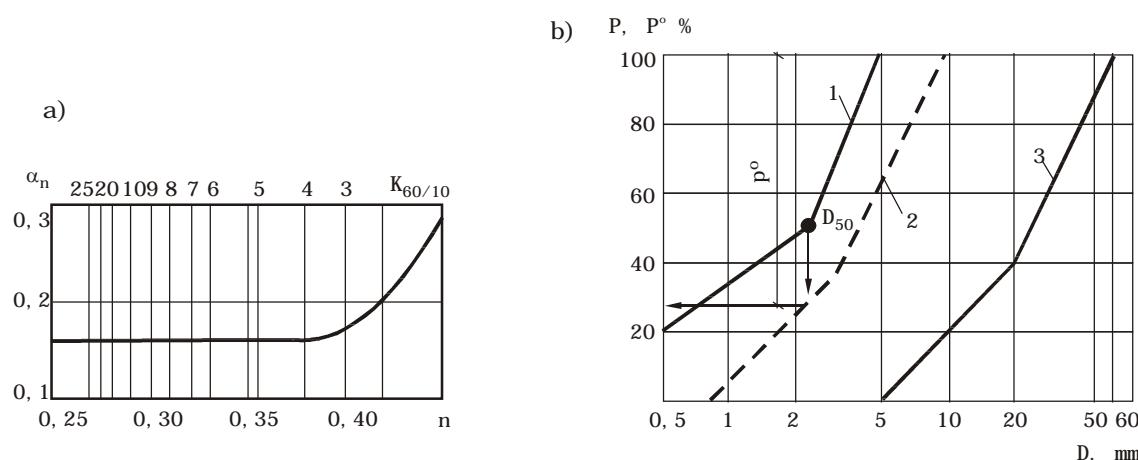
Kích thước kẽ hổng giữa các hạt đất khi biết được cấu tạo thành phần hạt của nó có thể được xác định theo công thức của V.X.Istomina - V.V. Burencova:

$$D_i^0 = \alpha_n D_i \quad (4.119)$$

Trong đó:

α_n - hệ số phụ thuộc vào độ rỗng, tức phụ thuộc vào hệ số phân hạt $K_{60/10}$ (lấy theo đồ thị hình 4-42 a);

D_i - đường kính các hạt lấy theo đường cong thành phần hạt (hình 4-42 b) trong đó i - tỷ lệ phân trăm hay còn gọi là mức đảm bảo hàm lượng các hạt có đường kính đó.



Hình 4-42. a) Đồ thị hàm $n = f(K_{60/10})$, $\alpha_n = f(n)$ và $\alpha_n = f(K_{60/10})$; b) Đồ thị xây dựng đường cong thành phần lõi rỗng trong vật liệu rời ứng với $n = 0,36$ và $\alpha_n = 0,155$ (b)

1- thành phần đất bảo vệ; 2- đường cong thành phần lõi rỗng của tầng lọc; 3- cấu tạo thành phần hạt của lớp lọc.

- Nếu trong thực tế xây dựng thuỷ lợi sử dụng loại đất cát sỏi có hệ số $K_{60/10} > 10$ và khi đắp vào công trình có hiện tượng phân tầng tạo thành những khu vực có hạt cỡ lớn và hạt cỡ nhỏ khác với cấu tạo ban đầu của đất khai thác, thì khi chọn tầng lọc để bảo vệ loại đất này cần lấy phần hạt nhỏ làm chỉ tiêu tính toán về cấu tạo hạt, còn khi sử dụng loại đất này làm tầng lọc bảo vệ cho lớp đất bên cạnh thì sử dụng nhóm đất hạt lớn.

Đường kính tính toán của các hạt đất khi phân tầng được xác định theo công thức sau (V.V.Burencova):

- Đối với nhóm hạt lớn

$$D_i^0 = \lambda_i D_i^x \quad (4.120)$$

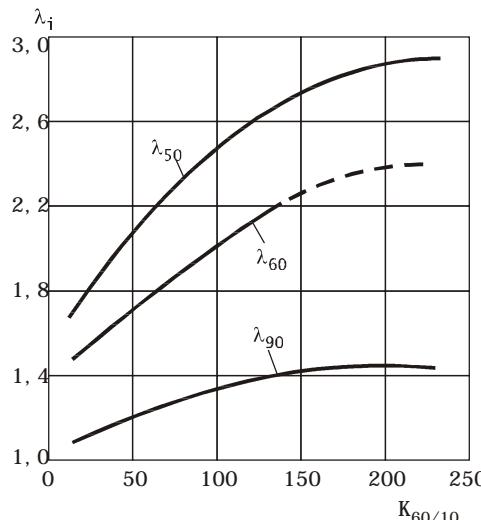
- Đối với nhóm hạt nhỏ

$$D_i^{1P} = D_i^x / \lambda_i \quad (4.121)$$

Trong đó:

λ_i - hệ số phân tầng đối với các hạt có mức đảm bảo (tỷ lệ) 50, 60 và 90%, được lấy theo đồ thị hình 4-43.

D_i^x - kích thước hạt đất theo đường cong thành phần hạt với mức đảm bảo tương ứng.



Hình 4-43. Đồ thị quan hệ giữa hệ số phân tầng λ_i và hệ số không đồng nhất của hạt $K_{60/10}$ đối với loại đất cát - sỏi

4.4.2. Ổn định thẩm của đất rời

Đối với công trình và nền cầu tạo bằng đất rời có thể xảy ra các loại biến dạng thẩm khác nhau tùy thuộc vào tính chất đất, gradiant cột nước thẩm và phương chuyển động của dòng thẩm.

Dưới đây là một số khuyến nghị được sử dụng phổ biến hiện nay để tính toán ổn định thẩm đối với đất rời.

Những biến dạng thẩm có khả năng xuất hiện trong đất rời là đùn đất, xói ngầm, xói tiếp xúc dọc và đùn đất tiếp xúc dọc.

Hiện tượng đùn đất hoặc đẩy bục đất không có lớp gia tải ở bên trên được kể đến khi $K_{60/10} \leq 10$.

Giá trị gradiant cực hạn đẩy bục đất trong dòng thẩm đi lên trong trường hợp không có lớp gia tải ở vùng dòng thẩm lộ ra bề mặt đất được xác định gần đúng theo công thức của E.A. Zamarin như sau:

$$I_k^b = \frac{(\rho_s - \rho_w)(1-n)}{\rho_w} + 0,5n; \quad (4.122)$$

Trong đó:

ρ_s và ρ_w - mật độ của hạt đất và của nước;

n - độ rỗng của đất.

Nếu gradiant đi ra cửa dòng thám trên đoạn a - b (cuối chân đập tràn, hình 4-41 b) $J^r > J_k^B$ thì cần phải xây dựng kết cấu gia tải (chi tiết 3, hình 4-41 b). Chiều dày lớp gia tải đồng thời làm chức năng tầng lọc có thể xác định theo công thức Tsugaép R.R. dưới đây:

$$T = S(J^r - J_k^B) \frac{\rho_w}{\rho_{gt}} k_a \quad (4.123)$$

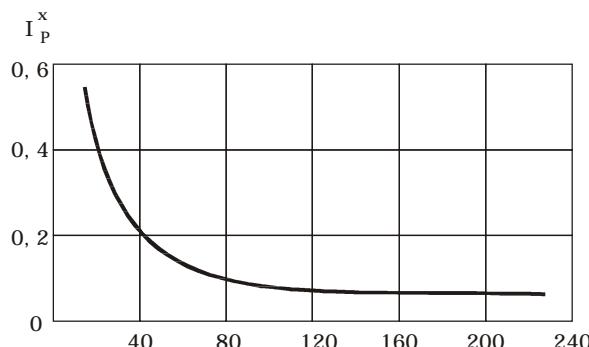
Trong đó: S - chiều dày lớp đất bị đẩy bức;

ρ_{gt} - mật độ vật liệu khô của lớp gia tải;

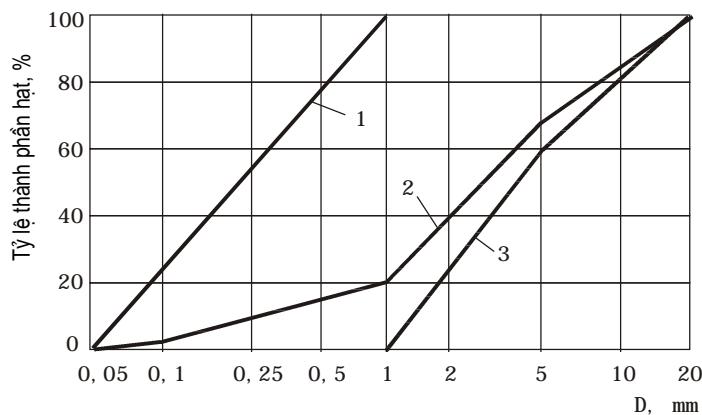
k_a - hệ số dự trữ an toàn, lấy bằng $1,2 \div 1,5$.

Xói ngầm: Theo viện sĩ V.X. Istomina, giá trị của gradiant thám gây xói ngầm J_p^x đối với đất cát hoặc đất sỏi có $K_{60/10} > 10$, chứa các hạt đường kính $D < 1\text{mm}$ trong phạm vi $10 \div 30\%$ theo khối lượng, có thể được đánh giá gần đúng bằng phương pháp chia thành phần hạt thành hai nhóm là nhóm cốt liệu với cỡ hạt $D > 1\text{mm}$ và nhóm hạt độn có cỡ hạt $D < 1\text{mm}$ (hình 4-44).

Giá trị của gradiant xói ngầm phá huỷ (tới hạn) được xác định theo đồ thị hình 4-45 ứng với các giá trị đã biết về đường kính hoạt động của hạt cốt liệu ($D_{10,c}$) và hạt độn ($D_{10,d}$) và góc nội ma sát của hạt độn ($\text{tg}\varphi_d$).



Hình 4-44. Ví dụ phân chia đất sỏi 2 thành nhóm cốt liệu 3 và nhóm độn 1



Hình 4-45. Đồ thị quan hệ gradiant xói ngầm phá huỷ $J_p^x = f[(D_{10,c} / (D_{10,d} \cdot \text{tg}\varphi_d))]$

Theo chỉ dẫn II - 55 76 của viện NCKHTL toàn Liên xô (cũ), cần kiểm tra khả năng xói ngầm của đất có cấu tạo hạt bất kỳ theo công thức:

$$D_{\max}^{xi} < D_3 \dots D_5 \quad (4.124)$$

Trong đó:

$D_3 \dots D_5$ - kích thước các hạt đất theo đường cong thành phần hạt tương ứng mức đảm bảo 3 - 5% (về hàm lượng);

D_{\max}^{xi} - kích thước lớn nhất của các hạt bị dòng thấm cuốn trôi ra khỏi khối đất, xác định theo công thức:

$$D_{\max}^{xi} = 0,77D_{\max}^0 \quad (4.125)$$

D_{\max}^0 - kích thước lớn nhất của các kẽ hổng trong đất, tính theo công thức của M. P. Pavtrin:

$$D_{\max}^0 = 0,455\chi \sqrt{K_{60/10}} \frac{n}{1-n} D_{17} \quad (4.126)$$

ở đây: $\chi = 1 + 0,05K_{60/10}$

Đùn đất tiếp xúc: Trường hợp dòng thấm có phương chuyển động vuông góc với mặt tiếp xúc của các lớp đất, cần kiểm tra điều kiện các hạt đất được bảo vệ không bị cuốn vào kẽ hổng của lớp hạt thô.

Theo V.X.Istomina, khi thiết kế tầng lọc ngược để bảo vệ đất cát ở nền công trình, cần đảm bảo yêu cầu không có xói tiếp xúc đối với đất nền theo điều kiện:

$$k_{60/10} < 10, \quad (4.127)$$

$$D_{50} \leq d_{50} (15 + 0,34K_{60/10}^2) \quad (4.128)$$

Trong đó:

D_{50} và d_{50} - đường kính trung bình của các hạt tương ứng của tầng lọc và đất cần được bảo vệ.

Các biểu thức (4.127) và (4.128) được áp dụng cho trường hợp $I \leq 1,5$ và $d_{10} = 0,1 \div 0,17$ mm.

Nếu đất cần được bảo vệ có $K_{60/10} > 10$ thì chỉ xét nhóm hạt độn.

Đối với đập có lõi giữa hoặc trường nghiêng, V.V.Burencova đề nghị tính lớp lọc thứ hai hoặc kiểm tra ổn định của lớp lọc tiếp xúc với khối nêm tựa (bằng đá đỗ hoặc cỡ hạt thô) theo biểu thức:

$$D_{10}^{II} \leq D_{50}^I / \alpha_n^{II} \quad (4.129)$$

$$D_{10}^{nt} \leq D_{50}^I / \alpha_n^{nt} \quad (4.130)$$

Trong trường hợp hệ số không đồng nhất của hạt $k_{60/10} > 10$, cần chú ý điều kiện phân tầng theo các công thức (4.120) và (4.121).

Theo chỉ dẫn II - 55 - 76 độ ổn định thẩm tiếp xúc của hai lớp đất không bị xói ngầm được đảm bảo với điều kiện:

$$D^0 / d_3 \leq 5,4 \quad (4.131)$$

Trong đó:

D^0 - đường kính trung bình của các kẽ rỗng của đất hạt lớn,

$$D^0 = 0,455\sqrt{K_{60/10}} \frac{n}{1-n} D_{17} \quad (4.132)$$

d_3 - đường kính các hạt ứng với mức đảm bảo 3%.

Trong tiêu chuẩn CHuΠ II - 16 - 76 đề nghị xác định giá trị tính toán gradian cục bộ tới hạn J_k ở vùng dòng thẩm đi ra hạ lưu đối với đất bị xói ngầm bằng các mô hình vật lý hoặc trên thực địa, còn đối với đất không bị xói ngầm lấy $J \leq 0,3$ khi không có vật thoát nước và $J \leq 0,6$ khi có VTN.

Trường hợp có VTN thẳng đứng, ổn định thẩm của đất nền đập được xác định theo các biểu thức của X.K.Abramop với các đặc trưng của tầng lọc như sau.

$$K_{60/10} \leq 5; \quad (4.133)$$

$$D_{50} = d_{50} (5 \div 10) \quad (4.134)$$

Trị số nhỏ được lấy khi đổ trực tiếp vật liệu lọc vào giếng, trị số lớn được lấy khi thi công lớp lọc trên giá đỡ.

Chiều dày lớp lọc khi đổ vật liệu vào giếng được lấy bằng $40 \div 50$ mm, khi thi công trên giá đỡ - lấy không nhỏ hơn 30 mm.

Xói ngầm tiếp xúc dọc: Đối với đất cát và đất sỏi có $d_{10} = 0,1 \div 0,57$ mm và $K_{60/10} \leq 10$ với $J \leq 1,3$, đường kính trung bình của lớp lọc D_{50} dùng để bảo vệ đất không bị xói ngầm tiếp xúc dọc được xác định theo công thức của V.X.Istomina như sau:

$$D_{50} = d_{50} (2,2 + 7,29 K_{60/10} / k_{60/10}) \quad (4.135)$$

Trong đó:

d_{50} - đường kính trung bình của hạt đất cần được bảo vệ ;

$K_{60/10}$ và $k_{60/10}$ - hệ số phân chia hạt tương ứng của vật liệu lọc và của đất cần bảo vệ lấy trong phạm vi $K_{60/10}/k_{60/10} = 0,25 \div 5$.

Gradian tối hạn phá huỷ đối với đất hạt mịn khi kích thước các hạt bị cuốn trôi $d_i \leq d_3$, được xác định theo công thức thực nghiệm của G.X.Pravedni:

$$I_k^{xt} = \frac{1}{\sqrt{\varphi_i}} (2,3 + 15 \frac{d_i}{D^0}) \frac{d_i}{D^0} \sin(30^\circ + \frac{\theta}{8}) \quad (4.136)$$

Trong đó:

φ_i - hệ số kể đến hình dạng và độ nhám của các hạt; đối với đất cát - sỏi - cuội lấy $\varphi_i = 1$; đối với đá dăm $\varphi_i = 0,35 \div 0,4$;

θ - góc tạo giữa phương chuyển động của dòng thẩm và lực trọng trường của đất.

Công thức (4.136) thích hợp khi số của Raynol là:

$$R_e = \frac{k_t J_k D^0}{v} \leq 20 \quad (4.137)$$

Ở đây: v - hệ số nhớt động học của nước thấm;

Vận tốc xói tối hạn khi đất hạt nhỏ tiếp xúc với đất hạt lớn được xác định theo công thức:

$$V_k = k_t J_k^{xt} \quad (4.138)$$

Trong đó:

k_t - hệ số thấm của đất hạt lớn;

J_k^{xt} - gradian tiếp xúc tối hạn, tính theo công thức (4.136).

4.4.3. Ốn định thấm của đất dính (đất sét)

Đất dính (đất sét) có các tính chất đặc thù sau:

- 1) Lực dính phân tử giữa các hạt xuất hiện khi có biến dạng kéo;
- 2) Khả năng tăng độ ẩm và trương nở khi thấm ướt trong điều kiện không có tải bù sung trên bề mặt đất.
- 3) Khả năng bị tách bóc từng hạt riêng rẽ.

Những biến dạng thấm chủ yếu thường xảy ra khi đất sét nằm tiếp xúc với đất hạt lớn là xói ngầm tiếp xúc, xói tiếp xúc dọc và sự phân tách lớp.

Tùy theo điều kiện làm việc của bộ phận chống thấm bằng sét trong thân đập, thường xét hai trường hợp tính toán sau:

- 1) Bộ phận chống thấm được xem là vật thể nguyên khối, không có bất kỳ khuyết tật nào như bị nứt hoặc có đường dòng thấm xuyên qua.
- 2) Trong vật chống thấm có các vết nứt và đường thấm xuyên suốt do sự biến dạng không đều của thân nền đập, hoặc do động đất gây ra.

Trường hợp tính toán thứ nhất: Khi VCT bằng sét ở trạng thái nguyên khối thì sự phá huỷ đất sẽ diễn ra dưới dạng các hạt sét bị đẩy bục vào kẽ hổng của tầng lọc. Như vậy, biến dạng chủ yếu ở đây là hiện tượng đẩy bục, được sử dụng để đánh giá về ổn định thấm của lối giữa hay tường nghiêng.

Điều kiện không xảy ra đẩy bục các hạt sét qua kẽ hổng của lớp lọc hạt rời được thỏa mãn khi:

$$J_p \leq J_{cp}^{kb} \quad (4.139)$$

Trong đó:

J_p - gradian tính toán trong công trình;

J_{cp}^{kb} - gradian cho phép đối với đẩy bục.

Đại lượng J_{cp}^{kb} được xác định theo công thức G.V. Mishurova:

$$J_{cp}^{kb} = \frac{0,1C_p}{\gamma_w D_{90}(1+\alpha_n)k} \quad (4.140)$$

Trong đó:

C_p - lực dính khi đất bị tách bóc;

γ_w - dung trọng của nước;

D_{90} - đường kính tính toán của hạt tầng lọc;

α_n - hệ số xác định theo đồ thị (4.42, a);

k - hệ số kể đến độ không đồng nhất giữa đất khai thác và đất đắp; đối với đập cấp I, lấy k = 2,5; đập cấp II, k = 1,5; đập cấp III và IV, k = 1.

Lực dính khi tách bóc các loại sét C_p đối với đập cấp I và II được xác định bằng thực nghiệm, đối với đập cấp III và IV lấy theo đồ thị hình 4-46 ứng với độ chật tính toán của đất khô:

$$\rho_{k,p} = 0,94 (\rho_k - 0,05), \quad (4.141)$$

$$\text{với } \rho_k = \frac{\rho_s \rho_w (1-v')}{\rho_w + \rho_s w} \quad (4.142)$$

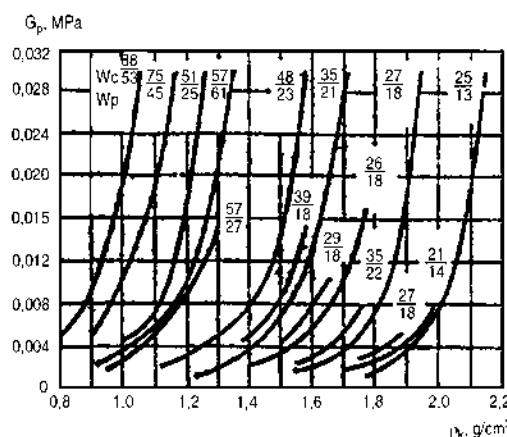
Trong đó:

ρ_s - độ chật của các hạt đất;

v' - hệ số, lấy bằng 0,04 đối với đất sét; bằng 0,05 đối với á sét; bằng 0,06 đối với á cát;

w - độ ẩm của đất theo tỷ lệ thập phân; độ ẩm tối ưu lấy bằng $w = w_p - (0,02 \div 0,03)$;

w_p - độ ẩm ở giới hạn lăn.



Hình 4-46. Đồ thị quan hệ $C_p = f \left[\rho_k, \frac{W_c}{W_p} \right]$ khi $G \approx 1$

Nếu tầng lọc có $K_{60/10} > 10$ thì trong công thức (4.120) sử dụng $D_{90}^p = \lambda_{90} D_{90}$ thay cho D_{90}^x .

Đối với đất sét có lẫn các hạt thô, theo V.X. Istomina và V.V. Burencova, giá trị C_p trong công thức (4.140) được lấy theo độ chật của nhóm hạt nhỏ ở thể khô và bằng

$$\rho'_{k,p} = 0,94(\rho'_k - 0,1) \quad (4.143)$$

Trong đó: $\rho_k = \frac{\rho_{k,h} \rho_{s,d>1} (1 - P_{d>1})}{\rho_{s,d>1} - \rho_{k,h} P_{d>1}}$ (4.144)

Ở công thức trên:

$\rho_{k,h}$ - độ chật của hỗn hợp đất khô;

$\rho_{s,d>1}$ - độ chật của các hạt thô đường kính $d > 1$ mm;

$P_{d>1}$ - hàm lượng các hạt thô có $d > 1$ mm lẫn trong đất sét, lấy trong phạm vi $0,1 \div 0,7$.

Khi không có số liệu thực nghiệm về đầm nén thì độ chật của đất khô có thể được xác định theo các công thức dựa theo số liệu đầm nén tại các công trường thực tế, cụ thể là:

Đối với lõi đập:

$$\rho_{k,h} = \rho_{s,d>1} (0,61 + 0,35 P_{d>1}) \quad (4.145)$$

Đối với tường nghiêng:

$$\rho_{k,h} = \rho_{s,d>1} (0,55 + 0,37 P_{d>1}) \quad 4.145a)$$

Đối với á cát có $I_p = 0,03 \div 0,05$, gradiant cho phép không bị đẩy bức tiếp xúc được xác định theo công thức G.V.Mishurova:

$$J_{cp}^{kb} = \frac{1}{1,4(D_{90}^0)^2} \quad (4.146)$$

Trong đó:

D_{90}^0 - đường kính của kẽ hổng tính toán của tầng lọc (cm), được xác định theo công thức (4.119) với $D_i = D_{90}$;

Hệ số 1,4 tương ứng với đơn vị $1,4 \text{ cm}^{-2}$.

Hiện tượng tách bóc các nhóm hạt sét có $I_p \geq 0,05$ sẽ không xảy ra nếu gradiant cho phép bằng:

$$J_{cp} \leq \frac{1}{\varphi} \cdot \frac{0,34}{(D_{max}^0)^2} - 1 \quad (4.147)$$

Trong đó: φ - hệ số phụ thuộc vào D_{max}^0 , lấy giá trị ở bảng 4-2.

Bảng 4-2. Giá trị của hệ số φ

D_{\max}^0 , cm	φ	D_{\max}^0 , cm	φ
0,100	0,50	0,400	0,32
0,200	0,46	0,500	0,18
0,300	0,42	0,550	0,08

Ngoài ra, đường kính tính toán D_p^0 phải lớn hơn kích thước lớn nhất của kẽ hổng tầng lọc D_{\max}^0 được đề nghị theo công thức (4.126).

Thành phần tầng lọc tính theo công thức (4.147) có thể áp dụng cho các loại đất á cát, á sét và sét khi có $I_p \geq 0,05$.

Trường hợp tính toán thứ hai: Khi kể đến vết nứt trong kết cấu chống thấm bằng đất sét thì điều kiện đặt ra là các hạt sét bị cuốn trôi từ các vết nứt sẽ lắng đọng trong kẽ hổng của tầng lọc.

Theo V.V. Burencova, điều kiện trên sẽ thoả mãn nếu đường kính các hạt tầng lọc không lớn hơn D_{60} :

$$D_{60} = \frac{2d_a}{\alpha_n \lambda_{60}} \quad (4.148)$$

Trong đó:

d_a - đường kính tính toán của cấu tạo nhóm hạt đất sét bị xói trôi,

$$d_a = \beta d'_a \quad (4.149)$$

Ở công thức trên:

β - hệ số phụ thuộc vào w_c (giới hạn chảy) lấy giá trị ở bảng 4-3;

d'_a - đường kính nhóm hạt đất, lấy bằng 0,028 mm đối với á sét, bằng 0,035 mm đối với đất sét.

Bảng 4-3. Giá trị hệ số β

w_c , %	β	w_c , %	β
20	7,5	40	10,4
25	8,3	45	10,7
30	9,2	50	10,8
35	10,0		

Độ ổn định thấm của các hạt và nhóm hạt đất được giữ lại ở tầng lọc trong điều kiện hệ số thấm có giá trị $K_t \leq 2 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Theo tài liệu quan trắc thực tế ở những đập đã xây dựng cho thấy lõi giữa bị nứt ở phần trên với kích thước δ trong phạm vi $2 \div 10$ cm và độ sâu nứt có thể tới $H_n = 5 \div 20$ m.

Theo G.X.Pravedni, điều kiện đất lõi bị xói sét lỏng động ở tầng lọc được thực hiện, nếu thành phần hạt của lớp lọc được thiết kế theo tiêu chuẩn sau:

$$\frac{D_{17}}{d_{90}} \leq \frac{26,5(1-n)}{n\sqrt[6]{Kl60/10}} \quad (4.150)$$

Trong đó:

d_{90} - đường kính hạt sét của lõi mức đảm bảo 90%.

Xói tiếp xúc dọc: Độ ổn định thẩm về xói tiếp xúc dọc của đất sét tiếp giáp với vật liệu hạt lớn được kiểm tra theo công thức của V.V. Burencova.

$$d_a \geq (D_{60}^0)_k \quad (4.151)$$

$$\text{và } \frac{\rho_w d_a}{g} \left[v_o \frac{D_{60}^0}{(D_{60}^0)_k} \right]^2 \leq 12f(o) \frac{D_{50}}{D_{50} + d_a} \operatorname{tg}\varphi \quad (4.152)$$

Trong đó:

d_a như trong công thức (4.148);

$(D_{60}^0)_k$ - đường kính tính toán của kẽ hở tầng lọc tại vùng tiếp xúc với đất sét,

$$(D_{60}^0)_k = 0,29 D_{60}^0 - 0,16 \quad (4.153)$$

ở đây:

D_{60}^0 - đường kính kẽ hở đối với đất có cỡ hạt $d = 3 \div 30$ mm, được xác định theo công thức (4.120) với $D_i = D_{60}$; Hệ số 0,16 lấy đơn vị là mm;

ρ_w - mật độ của nước g/cm^3 ;

g - gia tốc rơi tự do, cm/s^2 ;

v_o - tốc độ dòng chảy trong kẽ hở tầng lọc, cm/s , xác định theo công thức

$$v_o = k_\ell J \quad (4.154)$$

k_ℓ - hệ số thẩm của tầng lọc;

$f_{(o)}$ - năng lượng dính bám đơn vị, đối với các hạt và nhóm hạt sét lấy

$$f_{(o)} = 0,074 \text{ g/cm}^2;$$

D_{50} - đường kính trung bình của các hạt tầng lọc, cm;

φ - góc ma sát trong của đất sét ở trạng thái tổ hợp, lấy bằng $3^\circ \div 5^\circ$.

Đối với đập cấu tạo bằng á cát có $I_p = 0,03 \div 0,05$, khi chọn vật liệu cho lớp lọc dạng bề mặt mái nghiêng thì gradian cho phép không xói tiếp xúc được xác định theo công thức G.V.Mishurova:

$$I_{cp}^{kp} = \frac{5,7}{[(D_{60}^0)_k / d_a]^{1,36}} \quad (4.155)$$

Trong đó: d_a'' - đường kính tính toán của nhóm hạt á cát;

với đất có $w_p = 3$ có thể lấy $d_a'' = 0,07$ mm;

với đất có $I_p = 0,04$, lấy $d_a'' = 0,13$ mm;

với $I_p = 0,05$ - lấy $d_a'' = 0,22$ mm.

Trong trường hợp sử dụng VTN dạng gối phẳng, lớp lọc trên cùng cần phải thiết kế theo điều kiện không xảy ra xói bục tiếp xúc đối với đất được bảo vệ (không có hiện tượng hạt đất bị đẩy trôi qua kẽ hở của lớp lọc).

Theo G.X. Pravedni, gradian cho phép trong đất sét, có $I_p \geq 0,05$ tại mặt tiếp xúc với đất hạt lớn hoặc mặt tiếp xúc với đá nứt nẻ, được xác định theo công thức:

$$I_{cp}^{kp} = \frac{1}{\sqrt{D_{max}^0}} - 0,75 \quad (4.156)$$

Trong đó: D_{max}^0 lấy như trong công thức (4.126).

Đối với đá nứt nẻ, đề nghị lấy D_{max}^0 bằng chiều rộng của kẽ nứt (cm).

Theo CHuΠ II-53-73, trong giai đoạn thiết kế sơ bộ đối với bộ phận chống thấm của đập, có thể lấy giá trị gradian trung bình cho phép của dòng thấm trong đất nền và thân đập theo bảng 4-4.

Đối với lõi giữa, tường nghiêng và sân trước bằng đất, có thể lấy $4 < I_{cp} < 10$, khi có luận cứ thích đáng có thể lấy $I_{cp} = 12$.

Bảng 4-4. Giá trị gradian trung bình cho phép của dòng thấm I_{cp} trong nền và thân đập

Loại đất	Giá trị I_{cp} ứng với cấp của đập			
	I	II	III	IV
Trong đất ở nền đập				
Đất sét chặt	0,90	1,00	1,10	1,20
Đất á sét	0,45	0,50	0,55	0,60
Trong đất thân đập				
Đất sét chặt	1,50	1,65	1,80	1,90
Á sét	1,05	1,15	1,25	1,35
Á cát	0,55	0,65	0,75	0,85